VISIT…

В. Ф. Кобевник

Охрана труда

Допущено Министерством
высшего и среднего
специального
образования УССР
в качестве учебника
для студентов
технических вузов

КИЕВ
«ВЫЩА ШКОЛА»
1990

ББК 65.9(2)248я73
К55

УДК 331.823 (075.8)

Рецензенты: доктор технических наук Г. В. Дуганов (Севастопольский приборостроительный институт), кандидат экономических наук А. И. Ситницкий (служба охраны труда Минвуза УССР)

Редакционная группа литературы по строительству и архитектуре
Редактор *А. И. Черкасенко*

Кобевник В. Ф.

К55 Охрана труда.— К.: Выща шк., 1990.—286 с.: ил.

ISBN 5-11-001315-2

В учебнике изложены общие, правовые, организационные и специальные вопросы охраны труда, анализ причин травматизма и профессиональных заболеваний, основы техники безопасности, производственной санитарии и пожарной безопасности. Более подробно изложены специальные технические вопросы безопасности труда в строительстве, энергетике, машиностроении, на предприятиях радиоэлектроники и приборостроения. Отражены вопросы управления охраной труда в соответствии с системой стандартов безопасности труда (ССБТ), правилами и нормами, даны рекомендации по обеспечению безопасных и безвредных условий труда. Использованы элементы методов активного обучения.

Для студентов технических вузов.

К $\frac{2104000000-130}{M211(04)-90}$ 96—90 ББК 65.9(2)248я73

ISBN 5-11-001315-2

© В. Ф. Кобевник, 1990

ВВЕДЕНИЕ

В статье 21 Конституции СССР закреплено неотъемлемое право советских людей на охрану труда: «Государство заботится об улучшении условий и охране труда, его научной организации, о сокращении, а в дальнейшем и полном вытеснении тяжелого физического труда на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства». Ежегодно государство расходует на реализацию мероприятий по охране труда только по коллективным договорам около 2,5 млрд. рублей.

Развитие техники и совершенствование технологии, рост уровня механизации и автоматизации производства, внедрение новейших достижений науки создают реальные предпосылки для избавления от тяжелых, неквалифицированных работ, улучшения условий и обогащения содержания труда, обеспечения его безопасности.

Делом государственной важности является задача, провозглашенная на XVI съезде профсоюзов СССР: «От техники безопасности к безопасной технике».

Советская система охраны труда, главной задачей которой является предупреждение несчастных случаев и профессиональных заболеваний, характеризуется подлинным демократизмом. В обеспечении здоровых и безопасных условий труда непосредственное участие принимают сами трудящиеся ,профсоюзы. В настоящее время в различных формах общественного контроля за состоянием охраны труда на производстве принимают участие около 5 млн. профсоюзных активистов — общественных инспекторов и членов комиссий по охране труда профкомов.

Научно-технический прогресс, характерный для современного развития любой отрасли народного хозяйства страны, связан с интенсификацией труда, использованием более сложной техники. А это, в свою очередь, требует

повышения уровня профилактической работы по предотвращению воздействия на работающих дополнительно возникающих опасных и вредных производственных факторов. Поэтому в комплексе знаний, получаемых выпускниками вузов, важное место должны занимать научные основы охраны труда, глубокие теоретические знания, овладение методами и практическими навыками решения конкретных задач реального производства. Изучив научно обоснованные требования к созданию безопасных и безвредных условий труда на конкретных рабочих местах данной отрасли народного хозяйства, будущий специалист будет подготовлен к решению разнообразных задач охраны труда на производстве, сможет грамотно пользоваться методами организации безопасности труда, соответствующими современным требованиям.

Главная задача данного учебника — дать будущему специалисту знания научных основ охраны труда и привить интерес к творческому решению проблем улучшения условий труда на производстве.

Раздел I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА (ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ ТРУДА)

Глава 1

СОДЕРЖАНИЕ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА «ОХРАНА ТРУДА»

1.1. Охрана труда в СССР

Русские ученые внесли существенный вклад в дело охраны труда рабочих. Отечественная школа техники безопасности, производственной санитарии разработала принципиальные основы обеспечения безопасности труда, оздоровления условий труда. Большой вклад в решение вопросов гигиены и безопасности труда внесли М. В. Ломоносов, И. М. Сеченов, Ф. Ф. Эрисман, М. А. Павлов, А. А. Скочинский, Н. Н. Семенов и др.

В. И. Ленин всегда придавал вопросам охраны труда большое значение. Принятая на II съезде РСДРП (1903 г.) первая Программа партии требовала установления восьмичасового рабочего дня и еженедельного непрерывного отдыха не менее 42 ч; запрещения сверхурочных работ, труда подростков, а также женского труда в отраслях и на работах, вредных для здоровья; введения санитарного надзора на всех предприятиях, бесплатной медицинской помощи и сохранения заработной платы на время болезни и др.

Осуществление требований первой Программы партии стало возможным после победы Великой Октябрьской социалистической революции. Одним из первых декретов Совнаркома СССР был Декрет от 29 ноября 1917 г. о восьмичасовом рабочем дне. 17 мая 1918 г. был издан Декрет об учреждении инспекции труда, а в декабре 1918 г. первый советский Кодекс законов о труде (КЗоТ РСФСР), который в октябре 1922 г. был заменен кодексом СССР (КЗоТ СССР). С целью более широкого привлечения трудящихся к осуществлению контроля по охране труда в 1933 г. функции Народного комиссариата труда были переданы ВЦСПС и Центральным комитетам профсоюзов.

Для решения вопросов охраны труда в СССР создана сеть научно-исследовательских институтов ВЦСПС (Московский, Ленинградский, Тбилисский, Свердловский, Ивановский и др.), институтов гигиены труда и профессиональных заболеваний Минздрава и АН СССР, лабораторий охраны труда отраслевых НИИ, кафедр вузов и других организаций, которые ведут научную разработку вопросов охраны труда. Разработкой вопросов пожарной безопасности и противопожарной техники занимается Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной охраны (ВНИИПО) МВД СССР.

Благодаря работам по созданию здоровых и безопасных условий труда СССР относится к числу стран с самым низким в мире уровнем производственного травматизма.

В новой редакции Программы КПСС, принятой XXVII съездом партии, предусматривается последовательное проведение линии на значительное уменьшение ручного труда, существенное сокращение, а в перспективе — ликвидацию тяжелого физического труда, обеспечение безопасных и здоровых санитарно-гигиенических условий на каждом рабочем месте во всех отраслях народного хозяйства.

1.2. Цели и задачи курса «Охрана труда»

Дисциплина «Охрана труда» является социально-технической наукой, которая выявляет и изучает производственные опасности и профессиональные вредности, разрабатывает методы их предотвращения или ослабления с целью устранения несчастных случаев, профессиональных заболеваний, аварий и пожаров.

Охрана труда как научная дисциплина впервые возникла в СССР на стыке социально-правовых, технических и медицинских наук. Главными объектами ее исследований являются человек и процесс труда, производственная среда, взаимосвязь человека с промышленным оборудованием, организация труда и производства, технологические процессы.

Методологическая основа курса — научный анализ условий труда, технологических процессов, аппаратуры и оборудования с точки зрения возможности возникновения аварийных ситуаций, появления опасных факторов, выделения вредных производственных веществ. На основе такого анализа определяются опасные участки производ-

ства, возможные аварийные ситуации и разрабатываются мероприятия по их предупреждению или ограничению последствий.

Полностью безопасных и безвредных производств не существует. Задача охраны труда — свести к минимуму вероятность несчастного случая или заболевания работающего с одновременным обеспечением комфортных условий при максимальной производительности труда.

Курс «Охрана труда» состоит из четырех разделов: правовые и организационные вопросы охраны труда; производственная санитария; техника безопасности; пожарная безопасность.

1.3. Научно-технический прогресс и охрана труда

Наука об охране труда тесно связана с другими науками, широко использует новейшие достижения науки и техники, базируется на теоретических разработках по физике, химии, математике, электронике, медицине, экономике и др.

Важное место в разработке вопросов охраны труда занимают такие научные дисциплины, как эргономика, инженерная психология и физиология труда, техническая эстетика.

Для определения на научной основе методов и путей улучшения и оздоровления условий труда на производстве, обеспечения правильного ритма труда, режима труда и отдыха необходимо учитывать требования психологии и физиологии труда человека (изучение колебаний работоспособности человека, связанных с утомлением, нервным напряжением, монотонностью работы, и др.). Техническая эстетика изучает закономерности художественного проектирования производственных помещений и оборудования.

Охрана труда работающих в условиях интенсивного перевооружения производства на базе комплексной механизации и автоматизации может быть обеспечена лишь при всестороннем учете возможностей человека в трудовом процессе. В правильном решении этих задач существенную роль играет эргономика. Эргономика изучает проблемы оптимального распределения и согласования функций между человеком и машиной, обосновывает оптимальные требования к средствам и условиям деятельно-

сти и разрабатывает методы их учета при создании и эксплуатации техники, управляемой и обслуживаемой человеком. Рациональное сочетание возможностей человека и характеристик машины и соответствующее распределение функций внутри системы существенно повышают ее эффективность и обусловливают оптимальное использование человеком технических средств в соответствии с их назначением.

Рабочим местом считается место постоянного или периодического пребывания работающего для наблюдения и ведения производственного процесса или эксперимента. Организация рабочего места заключается в выборе рабочей позы, определении рабочих зон, размещении органов управления, индикаторов, инструментов и заготовок. Часть пространства рабочего места, в котором осуществляются трудовые процессы, может быть разделена на зоны. Рабочая поза будет наименее утомительна при условии, что рабочая зона сконструирована правильно, то есть обеспечивается соответствие этой зоны с оптимальным полем зрения рабочего (рабочая зона ограничивается дугами, которые может описывать рука при выполнении производственных операций).

Взаимодействие человека и техники в системе производства (система человек — машина — производственная среда) должно рассматриваться при проектировании и создании безопасных условий труда, при решении задач оптимизации труда. Такое взаимодействие и является специальным предметом науки — эргономики, которая комплексно изучает человека в конкретных условиях его деятельности, связанной с использованием машин (технических средств).

Различаются следующие требования эргономики к организации и проектированию трудовых процессов: экономические, психофизиологические, психологические, антропометрические, биомеханические, гигиенические, эстетические и социальные.

К экономическим требованиям относятся: повышение технической вооруженности труда; выбор оптимальной технологии, исключение лишних затрат рабочего времени; наиболее полное использование оборудования; выбор оптимального ритма и темпа работы; рациональная организация рабочего места.

Психофизиологические требования: установление соответствия скоростных, энергетических, зрительных и дру-

гих физиологических возможностей человека в рассматриваемом процессе; введение рациональных режимов труда и отдыха; сокращение объема информации; снижение нервно-эмоциональных напряжений и физических нагрузок; профессиональный отбор.

К психологическим требованиям относят установление соответствия закрепленных и формируемых навыков и возможностей восприятия, памяти и мышления.

Антропометрические и биомеханические требования: установление соответствия орудий труда размерам, форме и массе тела человека, силе и направлению движений.

Гигиенические требования: создание оптимальных метеорологических условий, оптимального физико-химического состава воздушной среды, освещенности, уровней шума и вибраций в пределах требований стандартов ССБТ и т. д.

К эстетическим требованиям относят определение соответствия эстетических потребностей человека и художественно-конструкторских решений рабочих мест (орудий труда) и производственной среды.

Социальные требования: повышение профессиональной подготовки, содержательности труда, эффективности управления производственными процессами, творческой активности трудящихся и др.

Эргономика рассматривает человека в системе человек — машина —производственная среда (ЧМС) как ведущее звено. Чем сложнее техника и многообразнее взаимоотношения с ней человека, тем бóльшая роль отводится «человеческому фактору» для достижения цели в современном производстве.

Под *«человеческим фактором»* понимается широкий круг присущих людям психологических и психофизиологических свойств, которые *так или иначе проявляются* в трудовой деятельности.

Под понятием *«машина»* подразумевается все, что находится в системе ЧМС между человеком и управляемым объектом.

Под *производственной средой* в эргономике понимаются следующие показатели: уровни опасных и вредных производственных факторов; параметры, сопутствующие процессу применения машин (электрический ток, вибрации и др.); потоки информации, приходящие в систему извне (распоряжения, инструкции, команды и т. п.).

В период широкого внедрения новой техники во всех отраслях народного хозяйства проблема оптимизации взаимоотношения человека с машиной и производственной средой стала одной из основных.

1.4. Основные понятия и определения по охране труда

В ГОСТ 12.0.002—80 Системы стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения даются определения основных понятий и терминов, применяемых в охране труда.

Охрана труда — это система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Техника безопасности — система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Производственная санитария — система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих вредных производственных факторов.

Опасный производственный фактор — фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному резкому ухудшению здоровья. *Вредный производственный фактор* — фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности.

Несчастный случай на производстве — случай воздействия на работающего опасного производственного фактора при выполнении трудовых обязанностей или заданий руководителя работ.

Травма (в переводе с греческого — рана) — повреждение тканей и органов человека с нарушением их целостности и функций, вызванное действием факторов внешней среды.

Безопасность труда — состояние условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов.

Безопасность производственного оборудования и процесса — свойство производственного оборудования или процесса сохранять соответствие требованиям безопасности труда в условиях, установленных нормативно-технической документацией.

Опасная зона — пространство, в котором возможно воздействие на работающего опасного или вредного производственного фактора.

Средство индивидуальной и коллективной защиты предназначено для защиты соответственно одного или двух и более работающих (предотвращение или уменьшение воздействия опасных и вредных производственных факторов).

Знаки безопасности труда предназначены для предупреждения работающих о возможной опасности, необходимости применения соответствующих средств защиты, а также разрешающие или запрещающие определенные действия работающих.

Профессиональное заболевание вызывается воздействием на работающего вредных условий труда.

Пожарная и взрывная безопасность — система организационных и технических средств, направленных на профилактику и ликвидацию пожаров и взрывов, ограничение их последствий.

Законодательство по охране труда — это часть трудового законодательства, касающаяся обеспечения нормальных условий труда.

Безопасное расстояние —наименьшее допустимое расстояние между работающим и источником опасности, необходимое для обеспечения безопасности работающего.

Глава 2

ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА

2.1. Законодательство об охране труда (общие положения)

Улучшение охраны труда рассматривается как одна из основных задач дальнейшего социального развития нашей страны.

Конституция СССР гарантирует заботу государства об улучшении условий и охраны труда (ст. 21), закрепляет право граждан СССР на охрану здоровья (ст. 42).

В законодательстве об охране труда отражены следующие правила и нормы:

правила организации охраны труда на предприятиях (в организациях), о планировании и финансировании мероприятий по охране труда;

правила по технике безопасности и производственной санитарии, в том числе правила, обеспечивающие индивидуальную защиту работающих от производственных травм и профессиональных заболеваний;

правила и нормы по специальной охране труда женщин, молодежи и лиц с пониженной трудоспособностью;

правила, регулирующие деятельность органов государственного и общественного контроля в области охраны труда;

правовые нормы, в которых предусматривается ответственность за нарушения законодательства об охране труда.

Важнейшие положения в области охраны труда закреплены в Основах законодательства СССР и союзных республик о труде, введенных в действие с 1 января 1971 г.

Законодательством возлагается на администрацию предприятий (организаций) обеспечение здоровых и безопасных условий труда, внедрение современных средств техники безопасности. Производственные здания, оборудование, технологические процессы должны отвечать требованиям, обеспечивающим здоровье и безопасные условия труда. Запрещается принимать и вводить в эксплуатацию предприятия, цехи, участки, не отвечающие требованиям охраны труда. Кодекс законов о труде (КЗоТ) включает главы «Охрана труда» и «Надзор и контроль за соблюдением законодательства о труде».

2.2. Нормативно-техническая документация по охране труда

Уровень охраны труда зависит от качества нормативно-технической документации, которая в зависимости от области распространения подразделяется на межотраслевую, отраслевую и документацию предприятий.

Межотраслевые (единые) правила, предназначенные для всех отраслей народного хозяйства, утверждаются

Советом Министров СССР либо по его поручению другими государственными органами совместно или по согласованию с ВЦСПС (ЦК соответствующих профсоюзов). *Отраслевые правила и нормы по охране труда*, предназначенные для отдельных отраслей народного хозяйства, утверждаются в установленном порядке министерствами, ведомствами, органами государственного надзора совместно или по согласованию с ЦК соответствующих профсоюзов. *Документы предприятий* (инструкции, стандарты) разрабатываются и утверждаются администрацией предприятия совместно с профсоюзным комитетом.

Нормативно-техническая документация по охране труда подразделяется на стандарты безопасности труда (государственные — ГОСТ, отраслевые — ОСТ, республиканские — РСТ, предприятий — СТП); строительные нормы и правила (СНиП); правила техники безопасности и производственной санитарии; инструкции; указания и руководящие технические материалы; положения; наставления, директивные и методические письма.

Одним из важнейших нормативных документов по охране труда является «Система стандартов безопасности труда» (ССБТ), представляющая собой комплекс взаимосвязанных стандартов, направленных на обеспечение безопасности труда. Впервые в стране требования охраны труда систематизированы и взаимосвязаны. Системе ССБТ присвоен шифр 12; она состоит из подсистем, имеющих шифры от 0 до 9. Шифр 0 обозначает организационно-методические стандарты (основные положения, термины, определения); шифр 1 — стандарты требований и норм по видам опасных и вредных производственных факторов; шифр 2 — стандарты требований безопасности к производственному оборудованию; шифр 3 — стандарты требований безопасности к производственным процессам; шифр 4 — стандарты требований к средствам защиты работающих; шифр 5 — стандарты требований безопасности к зданиям, сооружениям и строительным объектам; шифры 6—9 резервные. Третий знак в обозначении стандарта — порядковый номер в данной подсистеме (он выражается трехзначным числом от 001 до 100). Четвертый знак, выражаемый двузначным числом, означает последние две цифры года утверждения Госстандартом СССР и регистрации данного стандарта. Например, ГОСТ 12.4.001—80 ССБТ. Очки защитные. Термины и определения; ГОСТ 12.4.103—83 ССБТ. Одежда специальная,

защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация.

Стандарты предприятий по безопасности труда (СТП ССБТ) — составная часть ССБТ. Они не должны дублировать государственные и отраслевые стандарты ССБТ.

СТП могут определять организацию работ по охране труда на предприятии, организацию обучения и инструктажа работающих по безопасности труда, порядок надзора за объектами повышенной опасности, порядок проведения анализа причин травматизма, порядок внесения требований безопасности в конструкторскую и технологическую документацию предприятия, требований к организации обеспечения работающих средствами защиты и к эксплуатации этих средств, устанавливать порядок выдачи и списания средств индивидуальной защиты, порядок их приемки и испытания и т. п.

Внедрение стандартов зависит от соответствующего метрологического обеспечения, то есть наличия методов, технических средств, правил и норм, которые обеспечили бы единство и требуемую точность измерения параметров, характеризующих безопасность труда работающих. Для этого на предприятиях организованы промышленно-санитарные лаборатории или к проведению измерений привлекаются территориальные специальные организации.

Важнейшие этапы внедрения стандартов безопасности труда в производство — создание постоянно действующей комиссии и разработка организационно-технических мероприятий по приведению объекта стандартизации в соответствие с требованиями стандарта.

Приказом по организации (предприятию) в комиссию включаются все главные специалисты (главный механик, главный энергетик, начальники планового и производственно-технического отделов, отдела снабжения и комплектации), инженер по охране труда, председатель комиссии по охране труда профкома, а также передовые рабочие и рационализаторы производства. Руководство всей работой по стандартизации требований безопасности возлагается на главного инженера, который поручает членам комиссии разработку конкретных вопросов.

Разработка организационно-технических мероприятий — это выявление параметров, показателей, требований, по которым объект стандартизации не соответствует требованиям стандарта, и изыскание средств, исклю-

чающих это несоответствие. Это несоответствие выявляется путем сравнения требований стандарта с фактическими параметрами объекта стандартизации (в результате произведенных измерений). Повышение фактической концентрации уровня предельно допустимой концентрации устраняется специальными мероприятиями. Стандарты предприятий (СТП) разрабатываются по таким стадиям:

организация разработки стандарта и составление технического задания;

составление проекта стандарта (первой редакции) и рассылка его на отзыв (главным специалистам);

обработка отзывов, разработка окончательной (второй и последующих) редакции проекта стандарта;

подготовка, согласование и представление проекта стандарта на утверждение;

рассмотрение проекта стандарта, его утверждение и регистрация;

издание стандарта.

Объектами стандартизации требований безопасности могут быть: строительные машины и механизмы, инструмент, технологическая оснастка, средства индивидуальной защиты, ограждения, сигналы и надписи, организационно-технологическая документация по строительству объекта и др.

Утверждается стандарт руководителем после согласования с профсоюзным комитетом. Составляется акт внедрения стандарта.

2.3. Организация охраны труда на предприятии

В соответствии с существующим законодательством ответственность за организацию труда в целом по предприятию несут директор и главный инженер. По отдельным подразделениям такая ответственность возложена на руководителей цехов, участков и служб. Непосредственно руководит организацией охраны труда главный инженер предприятия.

На предприятиях и в организациях в коллективных договорах, которые ежегодно от имени коллектива рабочих и служащих заключаются профсоюзными комитетами с администрацией, должна предусматриваться конкретная работа в области охраны труда. Кроме того, проведение текущих мероприятий по охране труда отражается

в соглашениях по охране труда, являющихся официальным приложением, составной частью коллективных договоров, а также в единых комплексных планах оздоровительных мероприятий. *Ежегодные соглашения* — это важная правовая форма планирования и проведения мероприятий по охране труда. В соглашениях уточняются и дополняются мероприятия по охране труда по цехам, участкам, агрегатам, устанавливаются сроки проведения каждого мероприятия, указываются лица, ответственные за их проведение.

Обязательства по охране труда оформляются в виде так называемых номенклатурных мероприятий по охране труда и прилагаются к коллективному договору. План номенклатурных мероприятий составляет администрация предприятия (организации) на основе данных анализа причин несчастных случаев и заболеваемости на производстве, а также общего состояния условий труда. Этот план согласовывается с местным комитетом профсоюза и техническим инспектором труда, после чего представляется на рассмотрение профсоюзного собрания рабочих и служащих.

В сводную номенклатуру включают такие мероприятия, выполнение которых приводит к улучшению условий труда. По содержанию их подразделяют на следующие: по предупреждению несчастных случаев; по предупреждению заболеваний на производстве; по общему улучшению условий труда.

В целях охраны труда КЗоТ возлагает на администрацию предприятий (организаций) ответственность за выполнение следующих мероприятий: проведение инструктажей рабочих и служащих по технике безопасности, производственной санитарии, противопожарной охране и другим правилам охраны труда; организацию работы по профессиональному отбору; осуществление постоянного контроля за соблюдением работниками всех требований инструкций по охране труда.

Инструктаж и обучение правилам безопасных приемов и методов работы занимают важное место в комплексе мероприятий, внедряемых на предприятиях (в организациях).

Различают несколько видов инструктажа: вводный, первичный на рабочем месте, повторный, внеплановый, текущий (оформляются в специальном журнале).

Вводный инструктаж имеет продолжительность не менее 1,5—2 ч и его проводит инженер по охране труда

со всеми вновь поступающими на предприятие, а также командированными и студентами (учащимися), прибывшими на практику.

Первичный инструктаж на рабочем месте проводят лица, в распоряжение которых поступают вновь принятые, переводимые из одного подразделения в другое, командированные и др. Инструктаж проводится (в течение 3—6 смен) индивидуально, с практическим показом безопасных приемов и методов труда.

Не позднее чем через три месяца после оформления на работу администрация обязана обеспечить курсовое обучение работников по охране труда.

Повторный инструктаж проводится со всеми работающими независимо от квалификации и стажа по данной профессии не реже одного раза в шесть месяцев (во многих отраслях — один раз в квартал).

Внеплановый инструктаж проводится при изменении технологического процесса и правил по охране труда, внедрении новой техники, нарушении работающими требований техники безопасности, при перерывах в работе (для работ с повышенной опасностью — более чем на 30 дней, для остальных работ — на 60 дней).

Текущий инструктаж проводится перед производством работ, на которые оформляется допуск-наряд.

Первичный инструктаж на рабочем месте, повторный, внеплановый и текущий проводит непосредственный руководитель работ. Сведения о проведенных инструктажах заносятся в журнал регистрации вводного инструктажа, журнал (личную карточку) регистрации инструктажа на рабочем месте или в допуск-наряд.

Для лиц, обслуживающих установки повышенной опасности (крановщиков, сварщиков и др.), обучение и проверка знаний проводятся в организациях Госгортехнадзора СССР.

2.4. Надзор и контроль за состоянием охраны труда

Различают государственный, ведомственный и общественный контроль и надзор.

Высший надзор за точным исполнением законов о труде всеми министерствами и ведомствами, предприятиями (организациями), должностными лицами и гражданами возлагается на Генерального прокурора СССР.

Государственный надзор за состоянием охраны труда осуществляют: Государственный комитет по надзору за безопасным ведением работ в промышленности и горному надзору при Совете Министров СССР (Госгортехнадзор СССР); Министерство энергетики и электрификации СССР (Госэнергонадзор); Министерство атомной энергетики и промышленности СССР (Госатомэнергонадзор); Министерство здравоохранения СССР (Госсаннадзор); МВД СССР (Госпожнадзор); техническая и правовая инспекция труда профессиональных союзов; Советы народных депутатов.

Ведомственный контроль и надзор за состоянием охраны труда осуществляют Министерства и ведомства при помощи служб (отделов) охраны труда. Администрация учреждений и организаций, при которых состоят эти службы, обязана проводить планирование и финансирование различных мероприятий по охране труда, проведение инструктажа рабочих и служащих по технике безопасности и производственной санитарии и т. п.

Кроме государственного контроля (техническая и правовая инспекция труда), общественный контроль за состоянием охраны труда осуществляют профсоюзы при помощи избираемых общественных (старших) инспекторов профгрупп, профбюро, профкомов и комиссий по охране труда (в составе от 5 до 21 чел.).

На предприятиях и в организациях всех отраслей народного хозяйства широкое распространение получил административно-общественный трехступенчатый контроль за состоянием охраны труда.

На первой ступени контроль осуществляется мастером, механиком и общественным инспектором по охране труда профгруппы, которые ежедневно в начале работы проверяют исправность машин, станков и ограждений, инструментов и приспособлений, наличие и исправность защитных средств. При обнаружении неисправностей или нарушений правил и норм мастер (бригадир, механик) немедленно принимает меры к их устранению, о чем записывает в специальный журнал (а также в книгу мастера). После этого мастер (бригадир, механик) на своем участке при необходимости проводит пятиминутку по технике безопасности. При выявлении недостатков, которые нельзя устранить собственными средствами (неисправность вентиляции, поломка ограждений на станке и др.), он обращается к начальнику участка, цеха, глав-

ному механику (энергетику) для устранения обнаруженных неисправностей.

Еженедельно начальник цеха совместно с представителем комиссии по охране труда, общественным инспектором профбюро цеха осуществляют *вторую ступень контроля* охраны труда на своих участках. Все замеченные недостатки или нарушения правил и норм техники безопасности вносятся в журнал, назначаются лица, ответственные за их устранение, определяются сроки выполнения необходимых работ, о невозможности выполнения которых своими силами ставится в известность главный инженер.

На третьей ступени контроля главный инженер, инженер по охране труда, председатель комиссии охраны труда, врач медпункта, главный механик (энергетик) один раз в месяц проверяют состояние техники безопасности и производственной санитарии в каждом цехе. По результатам проверок делаются записи в журнале, в котором указываются руководители, ответственные за устранение обнаруженных недостатков, и сроки исполнения. Последняя ступень контроля заканчивается расширенным совещанием и изданием приказа по предприятию (организации).

В отдельных отраслях практикуется четырех- и пятиступенчатый административно-общественный контроль (с участием вышестоящих хозяйственных организаций).

В трудовом законодательстве особое внимание уделяется соблюдению требований охраны труда уже при проектировании и разработке новых (и реконструируемых) предприятий, машин и технологических процессов.

Должностные лица, виновные в нарушении законодательства о труде и правил по охране труда, в невыполнении обязательств по коллективным договорам и соглашениям по охране труда, несут ответственность (дисциплинарную, административную, материальную, уголовную) в порядке, установленном законодательством СССР.

Дисциплинарная ответственность заключается в наложении на должностных лиц в порядке подчиненности следующих взысканий: замечание, выговор, строгий выговор, перевод на нижеоплачиваемую работу или низшую должность на срок до трех месяцев, увольнение.

Административная ответственность выражается в наложении на виновных денежных штрафов, устанавливаемых органами надзора.

Материальная ответственность заключается во взыскании с виновных лиц полностью или частично сумм, выплаченных предприятием (организацией) потерпевшему от несчастного случая или профзаболевания, а также незаконно уволенным работникам за их вынужденный прогул.

Уголовная ответственность наступает в том случае, когда нарушения правил и норм могли бы повлечь или повлекли за собой последствия (несчастные случаи, профзаболевания).

2.5. Расследование, учет, методы анализа производственного травматизма и профессиональных заболеваний

Для анализа и профилактики производственного травматизма и профессиональной заболеваемости важное значение имеет классификация их причин. Несчастные случаи и профессиональные заболевания — следствие неудовлетворительных условий труда, возникающих в процессе производства в результате действия опасных и вредных производственных факторов (рис. 1).

Обычно технические причины составляют примерно 50 % от всех несчастных случаев, организационные — около 25, санитарно-гигиенические и психофизиологические — примерно 10—12 %.

По степени тяжести несчастные случаи делятся на микротравмы (без потери трудоспособности), легкие (с временной потерей трудоспособности), тяжелые (с полной или частичной потерей трудоспособности) и смертельные (с летальным исходом).

Различаются насчастные случаи, связанные с работой и производством, а также бытовые несчастные случаи. Несчастный случай, связанный с работой,— понятие более широкое и включает в себя несчастные случаи, происшедшие не только на производстве, но и вне его (см. схему на рис. 2).

Эти случаи расследуются членами комиссий социального страхования, страхделегатами с участием представителей администрации. Акт составляется по произвольной форме или по форме НТ. Если несчастный случай признан связанным с работой или производством, то потерпевший имеет право получать пособие по временной нетрудоспособности в размере 100 % заработка, а в слу-

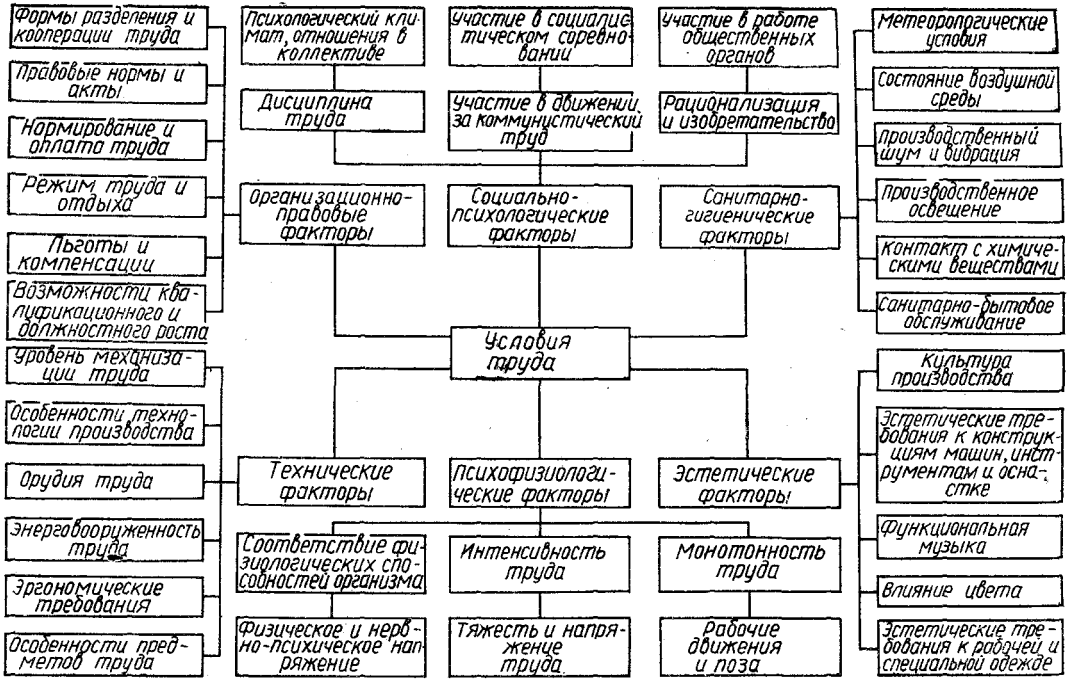


Рис. 1. Классификация факторов условий труда

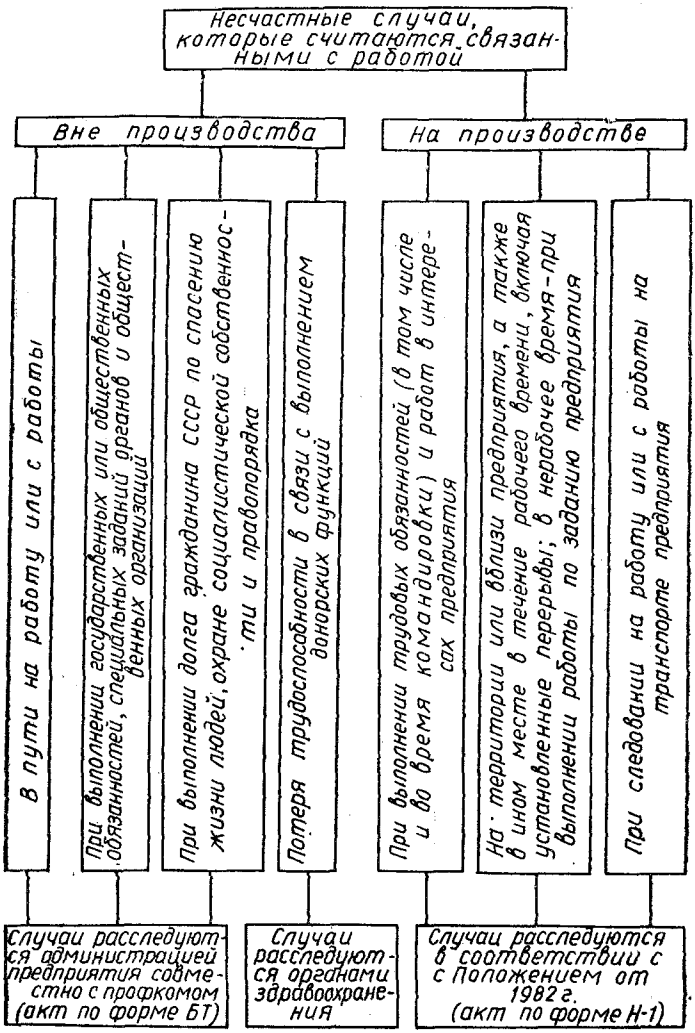


Рис. 2. Классификация несчастных случаев

чае необходимости — пенсию повышенного размера. Если несчастный случай хотя и произошел на производстве (с составлением акта по форме Н-1), но признан не связанным с производством (если в момент травмы пострадавший действовал не в интересах производства и его действия не соответствовали правилам внутреннего тру-

дового распорядка), то выплата пособий по временной нетрудоспособности и назначение пенсии производятся на общих основаниях (как в случае бытовых травм). Бытовые несчастные случаи оформляются актом по форме НТ и подлежат оплате, начиная с 6-го дня после травмирования.

Целью расследования несчастного случая, происшедшего на производстве, являются выявление причин, вызвавших этот случай, и разработка мер по предупреждению повторения подобных случаев.

Расследованию подлежат те несчастные случаи, которые произошли: на территории предприятия (организации), вне территории предприятия при выполнении работы по его заданию, а также с рабочими и служащими, доставляемыми на место работы и с работы на транспорте данного предприятия.

Расследованию подлежат несчастные случаи, происшедшие как в течение рабочего времени (включая установленные перерывы), так и перед началом и по окончании работ, а также при выполнении работ в сверхурочное время, в выходные и праздничные дни.

Острые отравления, тепловые удары, обмораживания, поражение молнией расследуются и учитываются как несчастные случаи.

Результаты расследования несчастного случая на производстве, вызвавшего потерю трудоспособности не менее одного рабочего дня, оформляются администрацией актом по форме Н-1.

О каждом несчастном случае на производстве пострадавший или очевидец несчастного случая немедленно извещает мастера, начальника цеха или соответствующего руководителя работ, который, в свою очередь, должен срочно сообщить об этом руководителю предприятия и профкому, в течение 3 сут совместно со старшим общественным инспектором по охране труда цеха и инженером по охране труда расследовать несчастный случай, выяснить его обстоятельства и причины, наметить мероприятия по предупреждению повторения подобных случаев. Оформленный в четырех экземплярах акт по форме Н-1 направляется главному инженеру, который обязан утвердить его в течение 3 сут после окончания расследования и принять меры к устранению причин.

Для расследования группового, тяжелого (инвалидного) и смертельного несчастных случаев назначается

комиссия из ответственных инженерно-технических работников с участием профсоюзной организации и, как правило, под председательством технического инспектора труда ЦК профсоюза. В состав комиссии входят также представители вышестоящей организации, руководства и профкома предприятия, Госгортехнадзора или Госэнергонадзора (на подконтрольных предприятиях). Срок оформления акта специального расследования не более 10 дней. При групповом несчастном случае (два и более одновременно травмированных) акт по форме Н-1 оформляется на каждого пострадавшего в отдельности. Помимо акта специального расследования составляются акт по форме Н-1 и заключение технического инспектора труда профсоюза.

Для анализа производственного травматизма применяются следующие основные методы: статистический, топографический, групповой, монографический и экономический.

Статистический метод основан на изучении причин травматизма по документам, в которых регистрируются несчастные случаи (акты по форме Н-1, листки нетрудоспособности) за определенный период времени. Для оценки уровня травматизма пользуются относительными статистическими показателями частоты и тяжести. Показатель частоты травматизма $K_ч$ определяет число несчастных случаев, приходящихся на 1000 работающих за определенный период:

$$K_ч = \frac{n}{P} 1000, \qquad (1)$$

где n — число несчастных случаев за конкретный период (за исключением тяжелых и смертельных несчастных случаев, для которых показатели определяются отдельно); P — среднесписочное число работающих.

Показатель тяжести травматизма $K_т$ характеризует среднюю длительность нетрудоспособности, приходящуюся на один несчастный случай:

$$K_т = T/n, \qquad (2)$$

где T — суммарное количество дней временной нетрудоспособности по всем несчастным случаям за отчетный период.

Показатель общего травматизма

$$K_{общ} = K_ч K_т = \frac{T}{P} 1000. \qquad (3)$$

Топографический метод состоит в изучении причин несчастных случаев по месту происшествия, которые систематически наносят условными знаками на планы цехов.

Монографический метод включает детальное исследование всего комплекса условий труда, в которых произошел несчастный случай.

Групповой метод основан на повторяемости несчастных случаев независимо от тяжести повреждения. При этом имеющийся материал расследования распределяется по группам с целью выявления наиболее часто повторяющихся случаев.

Экономический метод заключается в определении потерь, вызванных производственным травматизмом.

Для оперативного учета и обработки информации о травматизме и профзаболеваниях могут быть использованы ручные и машинные перфокартные системы, ЭВМ.

2.6. Система управления охраной труда (СУОТ)

В условиях современного производства отдельные, частные мероприятия по улучшению условий труда, предупреждению травматизма и заболеваемости оказываются недостаточно эффективными. Их необходимо осуществить комплексно, системно.

Одним из наиболее важных принципов построения и функционирования СУОТ является принцип системного подхода. Он выражается в том, что на основе программно-целевого управления осуществляется комплекс взаимосвязанных организационных, технических, гигиенических и социально-экономических мероприятий по созданию здоровых и безопасных условий труда на всех участках и стадиях производства. В СУОТ объектом управления служит безопасность труда на рабочем месте, участке, в цехе, во всей системе «человек — производство», а управляющий орган состоит из руководителей предприятия и структурных подразделений, а также работников службы охраны труда.

Состояние объекта управления определяется входными параметрами-факторами, воздействующими на безопасность и безвредность трудовой деятельности. К ним можно отнести: безопасность конструкции оборудования и содержание его в безопасном состоянии; безопасность технологических процессов; организацию труда, произ-

водства и управления; гигиенические параметры производственной среды; социально-психологические и психофизиологические (субъективные) факторы. Поскольку реальные производственные условия не могут быть абсолютно безопасными, то выходной характеристикой служит некоторый уровень безопасности труда. Показатели количественной и качественной оценки уровня безопасности выступают в роли критериев эффективности управления. Информация о выявленных в процессе контроля отклонениях от норм поступает в управляющий орган для анализа, выработки и принятия решений (управляющих воздействий), направленных на регулирование управляющих параметров — входов объекта управления. Таким образом, СУОТ действует по принципу обратной связи (замкнутое автономное управление).

Главная цель СУОТ — обеспечение безопасных и здоровых условий труда на производстве — достигается путем решения следующих задач (рис. 3):

обеспечения безопасности производственных процессов, оборудования, зданий и сооружений;

создания нормальных санитарно-гигиенических и психофизиологических условий труда;

организации профессионального отбора, обучения и пропаганды охраны труда;

обеспечения работающих средствами индивидуальной защиты (СИЗ);

нормализации санитарно-бытового обслуживания.

Определяющая и ведущая функция управления охраной труда —планирование организационно-технических мероприятий по охране труда. До начала работ по планированию должно быть проведено прогнозирование производственного травматизма, профессиональной заболеваемости и других показателей охраны труда. Прогнозирование производственного травматизма основано на анализе статистических данных о травматизме за несколько лет. Прогнозирование показателей охраны труда может быть поисковым и нормативным, исходя соответственно из существующей ситуации для определения состояния системы в будущем и из нормативно оцененных будущих состояний системы к действиям в настоящее время.

Организация работы по охране труда заключается в выборе и формировании такой структуры управления охраной труда на предприятии (в организации), которая

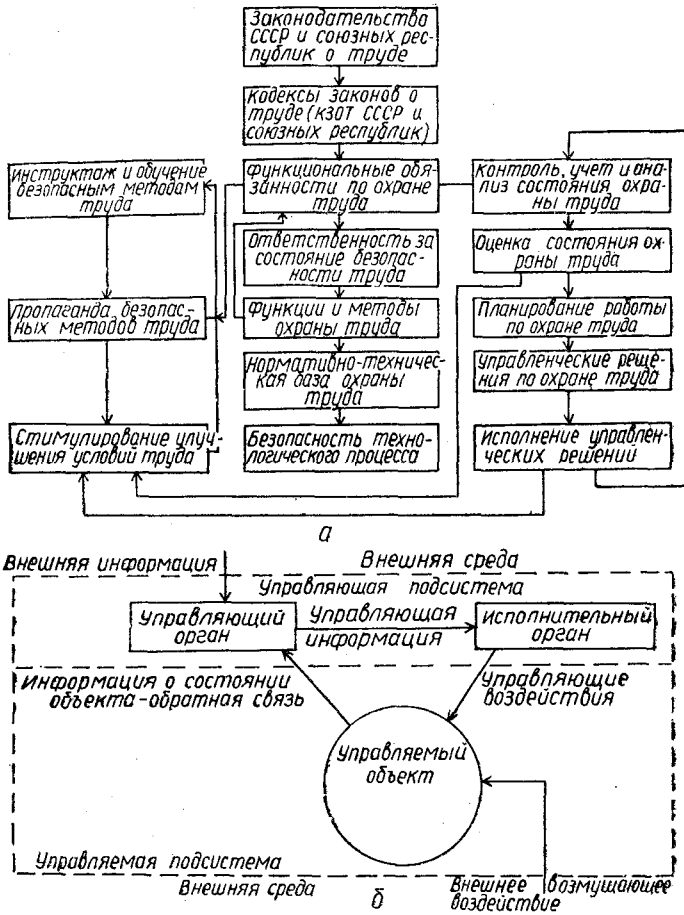


Рис. 3. Структурные схемы системы управления охраной труда: *а — полная; б — упрощенная*

бы наилучшим образом соответствовала цели создания безопасных и здоровых условий труда.

Практически все инженерные службы и должностные лица предприятия участвуют в управлении охраной труда. Поэтому эффективность управления охраной труда на предприятии зависит от организации работы — четкой регламентации обязанностей и прав всех звеньев и должностных лиц в этой области. Для этого на каждом предприятии разрабатывается Положение (на основе Типового

положения соответствующего Министерства и ЦК профсоюза) об организации работы по охране труда. Этот документ устанавливает взаимосвязи, соподчиненность, обязанности и права служб, структурных подразделений, должностных лиц в системе управления охраной труда. При этом соотношение основных функций при переходе с одного уровня управления на другой изменяется. Если, например, на уровне дирекции наибольшее значение имеют функции планирования, координации и контроля, то в цехе основное внимание должно обращаться на функции организации и стимулирования.

Организационно-методическую работу по управлению охраной труда, подготовку управленческих решений и контроль за их реализацией осуществляет служба охраны труда, подчиненная непосредственно главному инженеру. Соответствие результатов деятельности установленной цели осуществляется с помощью *функций учета и анализа*, которые позволяют установить уровень состояния охраны труда и эффективность работы СУОТ. Эта оценка проводится на всех уровнях управления (от мастера до директора). Суть функций учета и анализа заключается в систематическом учете показателей состояния охраны труда на объекте управления, анализе данных учета и обобщении причин невыполнения требований законов, стандартов, правил и норм охраны труда, а также причин невыполнения планируемых мероприятий. Анализируются все учетные и отчетные материалы о несчастных случаях, общих и профессиональных заболеваний, материалы всех видов контроля состояния охраны труда, данные санитарно-технических паспортов объектов, рабочих мест, участков и цехов, материалы специальных обследований зданий, сооружений, помещений, оборудования и т. п. В результате осуществления этой функции разрабатываются предложения, включаемые в текущие и перспективные планы, и стимулируется (материально и морально) деятельность отдельных служб, подразделений и должностных лиц за достигнутые показатели в области охраны труда.

Отклонения от требований охраны труда устанавливаются с помощью функции контроля, а устранение причин отклонений является функцией координации (регулирования).

Содержание функции координации работ, осуществляемой под руководством главного инженера на всех

уровнях управления, состоит в разработке и выполнении приказов, распоряжений и предписаний, проведении оперативных совещаний и т. п.

Для осуществления стимулирования в области охраны труда и практической оценки состояния охраны труда на предприятии (в цехе) используется базовый коэффициент $K_{баз}$, который представляет собой произведение трех коэффициентов:

$$K_{баз} = K_{п.б} K_{т.б} K_{и.д}, \qquad (4)$$

где $K_{п.б}$ — коэффициент производственной безопасности, характеризующий выполнение работающими норм и правил охраны труда (отношение числа работников, строго соблюдающих требования безопасности, к общему числу рабочих в цехе или на участке); $K_{т.б}$ — коэффициент технической безопасности, представляющий собой отношение количества машин, механизмов и других видов оборудования, полностью удовлетворяющих требованиям безопасности, к общему числу единиц оборудования, установленных в цехе (на участке); $K_{и.д}$ — коэффициент исполнительской дисциплины ИТР, который определяется отношением количества выполненных мероприятияй по охране труда за месяц (или другой период времени) к общему количеству запланированных мероприятий.

Коэффициенты $K_{п.б}$ и $K_{и.д}$ устанавливаются, как правило, инженером службы охраны труда, а коэффициент $K_{т.б}$ — комиссией, осматривающей оборудование (заполняются специальные карты). По динамике изменения $K_{баз}$ и других коэффициентов можно судить об уровне и направленности работы по охране труда в цехе (на участке). Можно также планировать рост этих коэффициентов и в зависимости от этого осуществлять материальное и моральное стимулирование (поощрение) коллектива и отдельных работников. К нарушителям правил и норм охраны труда применяются дисциплинарные и общественные меры воздействия. Используется также шкала снижения базового коэффициента из-за конкретных нарушений правил и норм.

Учебно-поисковая задача

Новые опасности и вредности, которые появляются на промышленных предприятиях различных отраслей народного хозяйства на современном уровне развития науки и техники.

Научно-технический прогресс характеризуется быстрым насыщением производства новейшими машинами, оборудованием, приборами, устройствами механизации и автоматизации производственных процессов, роботизированных комплексов и участков. Так, получают широкое применение лазерные установки, приборы с использованием изотопов, ультразвука, сложнейших устройств в системах автоматики, телемеханики, дистанционного управления и т. п. При этом одновременно с получением определенного технико-экономического эффекта нередко появляются и новые производственные опасности и вредности. Поэтому в условиях интенсификации производства, когда непрерывно создаются новые технологические процессы, машины и устройства для управления этими сложными процессами, неизбежно возникают новые проблемы по охране труда. К таким проблемам следует отнести инженерно-технические, медико-биологические и социально-экономические проблемы по охране труда. Следует также указать и на экологические проблемы, которые зачастую возникают в период НТП. Рассмотрим кратко эти проблемы.

К инженерно-техническим проблемам по охране труда можно отнести:

разработку методов получения короткоживущих радиоизотопов, обеспечивающих бо́льшую безопасность их применения;

оценку условий труда при использовании на предприятиях новых машин и устройств;

отражение вопросов безопасности в проектной документации на конкретную технологию производства;

разработку высокоэффективных мер по снижению уровней шума и вибрации на выпускаемых машинах и технологическом оборудовании;

создание более совершенных методов и средств защиты при эксплуатации промышленных роботов, устройств автоматики, электроустановок и др.

Медико-биологические проблемы по охране труда:

исследования по изучению влияния новых производственных факторов на сердечно-сосудистые и нервно-психические заболевания (от нервно-психического перенапряжения при работе операторов, диспетчеров и др.), на возникновения злокачественных новообразований;

изучение механизмов адаптации и акклиматизации организма человека к метеорологическим условиям и производственной среде при использовании новейшей техники, устройств и приборов.

Социально-экономические проблемы охраны труда:

комплексное изучение причин травматизма и профессиональных заболеваний в современных условиях с целью прогнозирования и разработки мер по их снижению;

разработка новых методов оценки экономической эффективности мероприятий по охране труда.

Раздел II

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА

Глава 3

ОЗДОРОВЛЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

3.1. Основные задачи производственной санитарии и гигиены труда

В процессе труда на человека кратковременно или длительно воздействуют разнообразные неблагоприятные факторы (пыль, газы, пары, шум и др.), которые могут привести к заболеванию и потере трудоспособности.

Условия и факторы, неблагоприятно влияющие на организм человека, можно разделить на три основных вида: физические (температура, шум, вибрация и др.); химические (пыль, газы, пар); биологические (инфекционные заболевания).

Эти факторы называются *профессиональными вредностями.*

Таким образом, задачей службы производственной санитарии является выполнение комплекса мероприятий, направленных на оздоровление условий труда рабочих и повышение его производительности на всех стадиях технологического процесса, устранение неблагоприятно действующих на здоровье рабочих вредных факторов и предупреждение профессиональных заболеваний.

Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий предусматриваются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Эти концентрации являются максимально разовыми и в пределах восьмичасового рабочего времени и всего рабочего стажа не могут вызвать у работающих заболевания или какие-либо отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются на четыре класса: I — чрезвычайно опасные (ПДК до 0,1 мг/м^3); II — высоко опасные (ПДК от 0,1 до 1 мг/м^3); III — умеренно опасные (ПДК от 1 до 10 мг/м^3); IV — мало опасные (ПДК > > 10 мг/м^3).

Всего нормируется более 700 веществ.

Токсическими, или *ядовитыми*, называются вещества, отрицательно воздействующие на организм человека и вызывающие нарушение процессов нормальной жизнедеятельности. Различаются острые и хронические отравления. *Острые отравления* — это следствие кратковременного воздействия ядовитых веществ, поступающих в организм в значительном количестве. *Хронические отравления* развиваются в результате постепенного, продолжительного воздействия токсических веществ, поступающих в организм малыми дозами, и отличаются большой стойкостью симптомов отравления. В результате хронических отравлений появляются профессиональные заболевания. По характеру токсичности различают четыре группы ядов: едкие, разрушающие кожный покров и слизистые оболочки (H_2SO_4, HCl, CrO_3 и др.); разрушающие органы дыхания (SiO_2, SO_2, NH_3 и др.); действующие на кровь (CO, мышьяковистый водород); действующие на нервную систему (спирты, эфиры, сероводород, углеводороды).

Так, на предприятиях приборостроения применяют ртуть, пары которой относятся к токсическим веществам. К таким веществам следует отнести также пары и пыль свинца. Источники их образования: металлизация свинцом, окраска изделий свинцовыми красками, монтаж электрических схем приборов припоями, содержащими свинец. Характер действия и степень токсичности веществ зависят от физико-химических свойств, особенно летучести, растворимости в воде и биологической среде, агрегатного состояния и дисперсности.

Воздух рабочих помещений может оказаться насыщенным примесями вредных газов или паров, выделяющихся при производственных процессах. Например, в цехах гальванопокрытий и травления образуются пары кислот, при проведении лакокрасочных и пропиточных работ — пары растворителей (бензол, толуол и пр.), при пайке и сварке — пары металлов и т. д.

Предупреждение профессиональных заболеваний и отравлений достигается выполнением комплекса технических и организационных мероприятий, направленных на оздоровление воздушной среды и выполнение режима производственной гигиены и личной безопасности рабочих.

3.2. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий

Проектирование промышленных предприятий (производственных и вспомогательных зданий и сооружений, инженерного оборудования) ведется с учетом действующих санитарных норм. Размеры санитарно-защитной зоны принимаются в соответствии с санитарной классификацией предприятия:

Класс предприятия	Размеры зоны, м
I	1000
II	500
III	300
IV	100
V	50

Объем производственного помещения предприятий на одного работающего принимается не менее 15 м^3, а площадь — не менее 4,5 м^2. Высота помещения должна быть не менее 3,2 м.

Санитарно-бытовые помещения, как правило, располагают в пристройках к основным производственным зданиям или в отдельно стоящих зданиях. В состав бытовых помещений и устройств входят гардеробные, умывальные, душевые, уборные, помещения для сушки и обеспыливания одежды, помещения для личной гигиены женщин, пункты питания, курительные, комнаты для обогрева работающих, питьевое водоснабжение (в жарких помещениях — подсоленной газированной водой). Состав этих помещений и их пропускная способность определяются исходя из санитарной характеристики групп производственных процессов: Iа — протекающие при нормальных метеорологических условиях и не вызывающие загрязнения одежды и рук; Iб — вызывающие загрязнения одежды и рук; IIе — протекающие на открытом воздухе.

Число мест в гардеробных принимается равным числу рабочих, занятых во всех сменах. Все остальные бытовые помещения рассчитываются на число работников одной, наиболее многочисленной смены.

Качество питьевой воды (из расчета потребления от 2,5 до 4 л в сутки на одного человека) должно отвечать установленным санитарным требованиям. Продолжитель-

ность осветления (отстоя) воды B, ч, определяется по формуле

$$B = H/3{,}6v, \qquad (5)$$

где H— средняя полезная высота (глубина) отстойника, м (горизонтального отстойника 3,5—4 м, вертикального — 3,5 м); v — скорость выпадения взвеси (мм/с) — для отстойников с коагуляцией v = 0,5 ... 0,05 мм/с, без коагуляции v = 0,05...0,1 мм/с.

Расстояние от рабочих мест до туалетов, помещений обогрева людей, сушки одежды должно быть не более 150 м.

3.3. Метеорологические условия и их нормирование в производственных помещениях

Метеорологические условия (микроклимат) в производственных условиях определяются следующими параметрами: температурой воздуха t, °С, относительной влажностью φ, %, скоростью движения воздуха на рабочем месте V, м/с, атмосферным давлением P, мм. рт. ст.

Производительность труда и самочувствие рабочего во многом зависят от состояния окружающей среды и прежде всего от изменения температуры, влажности, скорости движения воздуха, атмосферного давления, теплового излучения.

Измерить комфортность (ощущения человека) какими-либо физическими единицами невозможно, а поэтому введены условные единицы измерения в виде так называемых температур: эффективных — температура, которая ощущается человеком при определенной относительной влажности воздуха и отсутствии его движения в помещении, и эффективно-эквивалентных — при движении воздуха с различной скоростью. На рис. 4 приведена номограмма (с нанесенной зоной комфортности), по которой можно определить эффективную и эффективно-эквивалентную температуры.

В соответствии с требованиями стандарта ССБТ метеорологические условия определяются для рабочей зоны на высоте 2 м над уровнем пола. Человек работоспособен и чувствует себя хорошо, если температура окружающего воздуха находится в пределах 18—22 °С, относительная влажность составляет 40—60 %, а скорость движения воздуха — 0,1—0,2 м/с. При высокой температуре

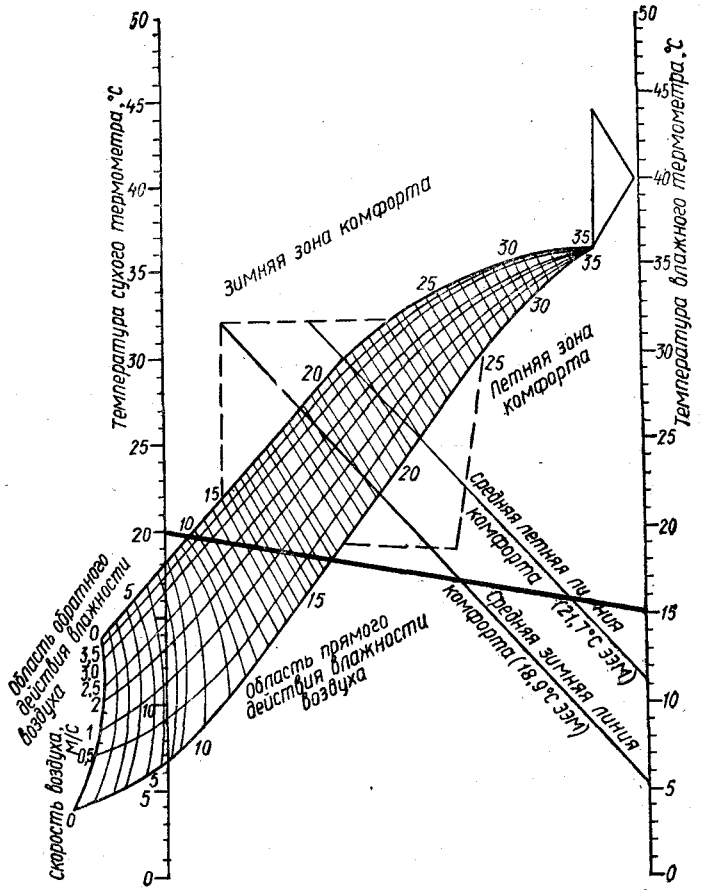


Рис. 4. Номограмма эффективно-эквивалентных температур микроклимата помещений (ЭЭМ)

и влажности происходит перегревание тела, грозящее тепловым ударом. Оно может быть вызвано также инфракрасным излучением прямых солнечных лучей. При низкой температуре происходит охлаждение организма, приводящее к простудным заболеваниям.

Условия труда на рабочих местах улучшают за счет механизации и автоматизации технологических процессов, обеспечения необходимого воздухообмена в производственных помещениях, изоляции опасных и пыля-

щих процессов, применения индивидуальных защитных средств и т. д.

В соответствии с требованиями стандарта устанавливаются оптимальные и допустимые метеорологические условия для рабочей зоны помещения, при выборе которых учитываются:

время года — холодный и переходный периоды со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже +10 °С; теплый период с температурой +10 °С и выше;

категория физической работы по тяжести (легкие работы с энергозатратами менее 172 Вт, средней тяжести — 172—293 и тяжелые — свыше 293 Вт).

Воздухообмен G, м³/ч, необходимый для ликвидации избытков тепла, определяется по формуле

$$G = \frac{Q_{изб}}{cv\,(t_{уд} - t_{пр})}, \qquad (6)$$

где $Q_{изб}$ — избыток тепла, Вт (Дж/с); $t_{уд}$, $t_{пр}$ — температура воздуха, удаляемого из помещения и приточного, °С; c — теплоемкость воздуха, кДж/(кг · град); v — плотность приточного воздуха, кг/м³.

Температуру воздуха, удаляемого из помещения, рекомендуется рассчитывать по эмпирической формуле:

$$t_{уд} = t_{рз} + k\,(h - 2), \qquad (7)$$

где $t_{рз}$ — температура воздуха в рабочей зоне при аэрации (принимается на 3—5 °С выше температуры наружного воздуха), °С; k — коэффициент повышения температуры по высоте помещения (для горячих цехов $k = 1...1{,}5$; для остальных $k = 0{,}2$); h — расстояние от пола до центра вытяжных фрамуг, м; 2 — высота рабочей зоны, м.

Для помещений, где работают машины, выделяющие тепло (дизельгенераторы и др.), избыток тепла $Q_{изб}$, Вт, может быть рассчитан по формуле

$$Q_{изб} = 1000\,[n_д N_д\,(1 - \eta_д)\,(1 - C_д) + n_г N_г\,(1 - \eta_г)], \qquad (8)$$

где $n_д$, $n_г$ — число дизелей и генераторов; $N_д$, $N_г$ — мощности дизеля и генератора, кВт; $\eta_д$, $\eta_г$ — КПД дизеля ($\eta_д = 0{,}3$) и генератора ($\eta_г = 0{,}98$); $c_д$ — коэффициент, учитывающий долю тепла, отведенного водой от дизеля ($C_д = 0{,}97$).

Температура воздуха в производственных помещениях измеряется обычными ртутными или спиртовыми термометрами. Для непрерывной регистрации температуры применяются самопишущие приборы — термографы. Тем-

пература воздуха измеряется в нескольких точках рабочего помещения в разное время. Измерение производится в одной-двух точках на уровне 1,3—1,5 м от пола. На тех рабочих местах, где температура воздуха у пола заметно отличается от температуры воздуха верхней зоны помещения, она измеряется на уровне ног (0,2—0,3 м от пола).

Относительная влажность воздуха (отношение фактического содержания водяных паров в граммах, которое находится в данное время в 1 м^3 воздуха, к максимально возможному их содержанию в этом объеме) определяется психрометрами стационарным (психрометр Августа) или аспирационным.

Для измерения движения воздуха применяются крыльчатые (предел измерения 0,3—0,5 м/с) и чашечные (1—20 м/с) анемометры, а для определения малых скоростей движения воздуха (менее 0,5 м/с) — термоанемометры и кататермометры.

Современные методы и средства автоматизированного сбора и обработки информации о параметрах микроклимата в производственных помещениях позволяют получать оперативные данные о состоянии метеорологических условий среды в рабочих зонах для принятия экстренных мер. Применяются анализаторы качества микроклимата ЭМТБ-1 (электронная модель теплового баланса) и другие автоматические устройства. Для непрерывной регистрации колебаний температуры воздуха в виде записи температурной кривой в течение рабочего дня, суток, недели применяются термографы. Основной частью прибора, которая реагирует на изменения температуры воздуха, является биметаллическая пластинка.

Для систематического наблюдения за влажностью воздуха по дням и часам применяются самопишущие приборы — гигрографы, устройство которых аналогично термографам. В качестве воспринимающей части, реагирующей на изменения влажности воздуха, служит пучок волос (волос во влажном воздухе удлиняется, в сухом — укорачивается). Прибор обеспечивает непрерывную регистрацию изменений относительной влажности воздуха в течение длительного времени.

Барограф устроен по такому же принципу, как и термограф. Он используется для непрерывной регистрации колебаний атмосферного давления в течение определенного отрезка времени.

Отбор проб воздуха в рабочей зоне производственного помещения для лабораторного химического исследования с целью определения концентрации вредных веществ может производиться разными методами в зависимости от агрегатного состояния этих веществ, загрязняющих воздух (в виде газа, пара, пыли или тумана). Для выделения из воздуха различных веществ пользуются поглотительными средами. Так, для отбора проб воздуха применяются электрические аспираторы Мигунова и др.

Отбор среднесуточных проб производится с помощью автоматических газоанализаторов — непрерывно действующих, автоматических, показывающих и регистрирующих приборов.

Интенсивность теплового (инфракрасного) излучения измеряется актинометрами.

Меры защиты от теплового излучения делятся на четыре группы: устраняющие источник тепловыделений; защищающие от тепловой радиации (поглощающие и отражающие стационарные и подвижные экраны); облегчающие теплоотдачу тела человека (оазисы, души); индивидуальная защита.

Отражающие экраны выполняются из кирпича, алюминия, жести, асбеста. Поглощающие экраны представляют собой завесы. Индивидуальная защита в горячих цехах достигается спецодеждой из сукна, брезента, шляпой из войлока, фетра, спецобувью, очками со светофильтрами. Существенное значение имеют питьевой режим и режим труда и отдыха.

3.4. Производственные пыли, пары и газы

Ряд производственных процессов сопровождается значительным выделением пыли. Пыли, взвешенные в воздухе, называются *аэрозолями*; скопления осевших пылей — *аэрогелями*. Ядовитые пыли, растворяясь в биологических средах организма, вызывают отравления. Нетоксичные пыли воздействуют на организм, раздражая кожу, глаза, уши, а проникая в легкие, вызывают профессиональные заболевания — пневмокониозы (силикоз и др.). Вредность воздействия зависит от количества вдыхаемой пыли, от степени ее дисперсности, формы пылинок и ее химического состава. Глубоко в легкие проникают пылинки размером от 0,1 до 10 мкм, мелкие выды-

хаются обратно, а более крупные задерживаются в носоглотке.

По степени измельчения (дисперсности) пыли делят на две группы: видимая — с размерами частиц 10 мкм и более; микроскопическая — менее 10 мкм (по классификационной номограмме деление более подробное — на 5 групп: I—V).

Воздух рабочих помещений может оказаться насыщенным примесями вредных газов или паров, выделяющихся при производственных процессах (при зарядке аккумуляторов, гальванических и лакокрасочных покрытиях, пропиточных работах и т. п.).

Мероприятия по ограничению неблагоприятного воздействия пыли должны быть комплексными и включать меры технологического, санитарно-технического, медико-профилактического и организационного характера. К этим мероприятиям прежде всего относят герметизацию оборудования, увлажнение материала и воздуха, автоматизацию производственных процессов, местную и общеобменную вентиляцию. Большое значение имеет применение обеспыливающих устройств, которые условно подразделяются на пылеуловители и воздушные фильтры.

По физиологическому воздействию вредные вещества подразделяют на пять групп:

раздражающие, которые поражают дыхательные пути, кожу, слизистые оболочки (кислоты, щелочи, сернистые соединения, аммиак, хлор и др.);

удушающие (инертные газы, углекислый газ, метан, азот и др.);

яды, вызывающие повреждение внутренних органов, кровеносных сосудов и нервной системы (спирты, эфиры, бензол, фенол, пыль таких токсичных металлов, как олово, свинец, ртуть, марганец);

летучие наркотики, оказывающие наркотическое действие (ацетилен, летучие углеводороды);

пыли (инертные или вызывающие аллергические реакции).

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия сумма их концентраций не должна превышать единицы:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \cdots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leqslant 1, \qquad (9)$$

где C_1, C_2, ..., C_n — фактические (замеренные) концент-

рации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м^3; $ПДК_1$, $ПДК_2$,..., $ПДК_n$ — предельно допустимые концентрации (по нормам) вредных веществ в воздухе.

Контроль за составом воздуха должен быть постоянным. Запыленность воздуха можно определить весовым, счетным, электрическим и фотоэлектрическим методами. Наиболее распространен весовой метод (прибор ИКП-1) определения массы пыли, содержащейся в единице объема воздуха. Для этого взвешивается специальный фильтр до и после просасывания через него некоторого объема запыленного воздуха, а затем подсчитывается масса пыли в миллиграммах на кубический метр.

Концентрация газов определяется методами, основанными на химических, диффузионных и электрических принципах.

Защита работающих от воздействия промышленных газов, паров и пыли осуществляется с помощью следующих основных мероприятий:

автоматизации и механизации процессов, сопровождающихся выделением вредностей;

совершенствования технологических процессов;

совершенствования конструкций оборудования (герметизация и др.);

устройства местной вентиляции для отсоса ядовитых веществ непосредственно от мест их образования (местные отсосы устраиваются конструктивно встроенными и сблокированными с оборудованием так, что агрегат невозможно пустить в ход при выключенном отсосе);

индивидуальных средств (в дополнение к общим защитным средствам пользуются спецодеждой, антитоксическими пастами, очками, шлемами и масками, противогазами и респираторами).

Дыхательные органы защищаются фильтрующими и изолирующими (шланговыми, кислородными) приборами.

Ядовитые газы, пары и пыли, удаляемые из производственных помещений, также загрязняют атмосферу. Очистка выбросов в атмосферу — неотъемлемая часть любого технологического процесса. Предотвратить загрязнение воздушного бассейна ядами и пылью, удаляемыми из производственных помещений, можно, пропуская загрязненный воздух через специальные очистные фильтрующие и обезвреживающие устройства; дым после очистки рассеивается в атмосфере. Достаточная высота дымовых труб обеспечивает рассеивание выбросов на больших

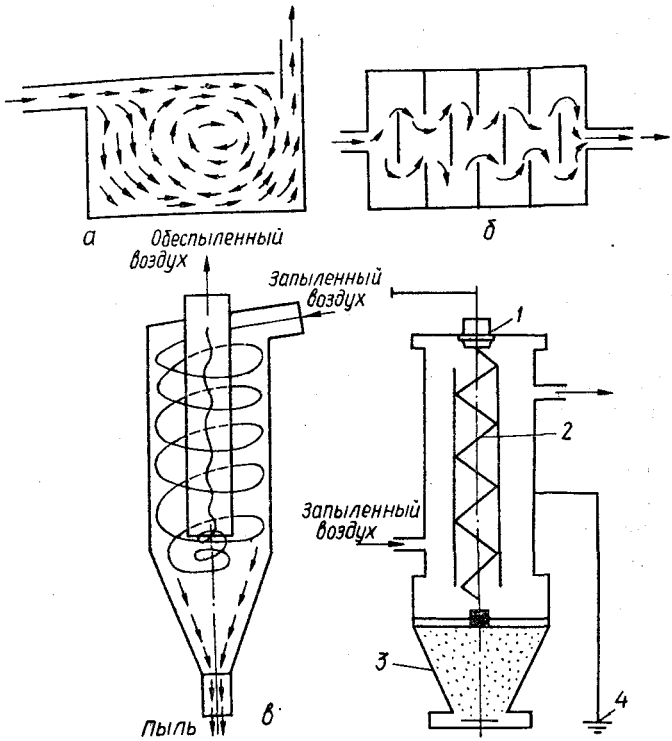


Рис. 5. Пылеочистные устройства:

а, б — простая и лабиринтная пылеотстойные камеры; *в* — центробежный пылеотделитель-циклон; *г* — электрофильтр; *1* — изолятор; *2* — коронирующий электрод; *3* — бункер для сбора пыли; *4* — заземление

площадях, благодаря чему концентрации вредных веществ в атмосфере становятся незначительными.

Воздух, удаляемый из помещений, очищается от пыли в пылеотделителях таких конструкций (рис. 5):

пылеосадочные камеры (бункерного типа — принцип осаждения основан на резком снижении скорости движения загрязненного воздуха; лабиринтная камера — инерционные пылеотделители, где резко меняется направление движения запыленного воздуха);

центробежные пылеотделители (циклоны); загрязненный воздух, подаваемый в кольцевое пространство между цилиндрами, получает вращательное движение (пылинки центробежной силой отбрасываются к стенкам наружного цилиндра);

циклоны с гидроорошением;

электрические фильтры с устройством по оси металлического заземленного цилиндра коронирующего электрода, к которому подведено напряжение 50—100 кВ; отрицательно заряженные частицы пыли направляются к положительному осадительному электроду, которым является цилиндр (применяется предварительная обработка воздуха ультразвуком для укрупнения пылинок);

масляные матерчатые фильтры.

Очистка воздуха от газообразных примесей (рекуперация) осуществляется путем абсорбции (поглощения примесей твердыми веществами) либо переводом газообразных примесей в жидкое или твердое состояние с последующим их выводом.

3.5. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха

Задача вентиляции — обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. С помощью вентиляции удаляется загрязненный или нагретый воздух из помещения и подается свежий.

По способу перемещения воздуха вентиляция бывает с естественным побуждением (естественной) и механическим (искусственная). Возможно также сочетание естественной и механической вентиляции (смешанная вентиляция). По назначению различают приточную, вытяжную и приточно-вытяжную вентиляцию (рис. 6).

По месту действия вентиляция бывает общеобменной и местной. Действие общеобменной вентиляции основано на разбавлении загрязненного, нагретого, влажного воздуха помещения свежим воздухом до предельно допустимых норм. Эта система вентиляции наиболее часто применяется в случаях, когда вредные вещества, теплота, влага выделяются равномерно по всему помещению (при этом необходимые параметры воздушной среды поддерживаются во всем объеме помещения). Если помещение велико, а число людей, находящихся в нем, мало (с фиксированным местом нахождения людей), нет смысла проветривать все помещение полностью, можно ограничиться оздоровлением воздушной среды только в местах нахождения людей (кабины управления в цехах и др.).

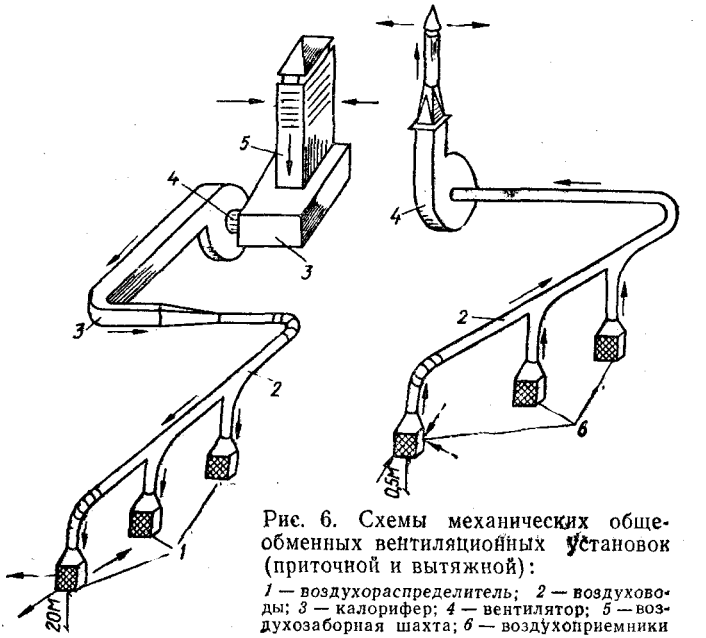


Рис. 6. Схемы механических общеобменных вентиляционных установок (приточной и вытяжной):
1 — воздухораспределитель; 2 — воздуховоды; 3 — калорифер; 4 — вентилятор; 5 — воздухозаборная шахта; 6 — воздухоприемники

Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская распространения по помещению. Для этого технологическое оборудование выполняется в кожухе с герметизацией и отсосом загрязненного воздуха (местная вытяжная вентиляция). В помещениях, в которых возможно внезапное поступление в воздух рабочей зоны больших количеств вредных газов, пыли, паров, наряду с рабочей предусматривается аварийная вентиляция.

Для эффективной работы система вентиляции должна удовлетворять следующим санитарно-гигиеническим и техническим требованиям:

количество приточного воздуха $G_{пр}$ должно соответствовать количеству удаляемого $G_{выт}$ (разница между ними должна быть минимальной);

приточные и вытяжные системы в помещении должны быть правильно размещены; свежий воздух необходимо подавать в те части помещения, где количество вредных выделений минимально (или их нет вообще), а удалять, где выделения максимальны; приток воздуха должен

производиться, как правило, в рабочую зону, а вытяжка — из верхней зоны помещения;

системы вентиляции не должны вызывать переохлаждения или перегрева работающих и создавать на рабочих местах шум, превышающий предельно допустимые уровни; они должны быть электро-, пожаро- и взрывобезопасны, просты по устройству, надежны в эксплуатации и эффективны.

Естественная вентиляция создает необходимый воздухообмен за счет разности плотности теплого воздуха, находящегося внутри помещения, и более холодного снаружи, а также в результате ветра. Естественная вентиляция производственных помещений может быть неорганизованной и организованной. В первом случае поступление и удаление воздуха происходит через неплотности и поры наружных ограждений, окна, форточки.

Организованная естественная вентиляция осуществляется аэрацией и дефлекторами. *Аэрация* — организованный и регулируемый естественный воздухообмен. *Дефлекторы* представляют собой специальные насадки, устанавливаемые на вытяжных воздухоотводах и использующие энергию ветра.

Расчет аэрации основан на обеспечении баланса воздухообмена: количество воздуха, входящее в здание за единицу времени, всегда равно количеству воздуха, выходящего из здания:

$$\sum G_{\text{пр}} = \sum G_{\text{выт}}. \qquad (10)$$

Естественная вентиляция дешева и проста в эксплуатации. Основной ее недостаток в том, что приточный воздух вводится в помещение без предварительной очистки и подогрева, а удаляемый воздух также не очищается и загрязняет атмосферу.

Механическая (искусственная) вентиляция обеспечивает поддержание постоянного воздухообмена независимо от внешних метеорологических условий за счет комплекса систем воздуховодов и механических вентиляторов (центробежных и осевых). Воздух, поступающий в помещение, при необходимости подогревается или охлаждается, увлажняется или осушается. Обеспечивается очистка и воздуха, выбрасываемого наружу.

Приточная общеобменная система вентиляции (рис. 6, *а*) производит забор воздуха извне вентилятором через

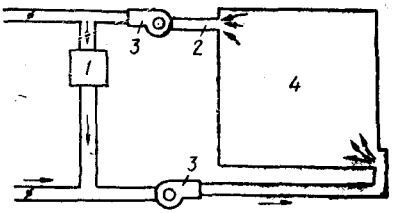


Рис. 7. Схема воздухообмена в помещении по принципу рециркуляции:
1 — фильтр для очистки воздуха; *2* — вытяжной воздуховод; *3* — вентиляторы; *4* — вентилируемое помещение

калорифер, где воздух нагревается и увлажняется, а затем подается в помещение. Количество подаваемого воздуха регулируется клапанами или заслонками, устанавливаемыми в ответвлениях. Загрязненный воздух вытесняется неочищенным через двери, окна, фонари, щели.

Вытяжная система вентиляции (рис. 6, *б*) удаляет загрязненнный и перегретый воздух через сеть воздуховодов при помощи вентилятора. Чистый воздух подсасывается через окна, двери, неплотности конструкций. Загрязненный воздух перед выбросом наружу очищается.

Приточно-вытяжная система вентиляции состоит из двух отдельных систем — приточной и вытяжной, которые одновременно подают в помещение чистый воздух и удаляют из него загрязненный. При этом виде вентиляции целесообразно в производственных помещениях с малыми выделениями вредностей создавать небольшой подпор воздуха, а в смежных с ними помещениях со значительными выделениями вредностей такого подпора (избыточного давления) воздуха не создавать. Этим будет обеспечена своеобразная изоляция помещений с малыми выделениями вредностей от проникновения в них загрязненного воздуха из смежных помещений.

Устройства для подачи в помещение свежего воздуха располагают со стороны, противоположной фронту обслуживания оборудования. Высота устройств для забора воздуха может быть принята различной, чтобы загрязненный воздух перемещался в направлении его естественного движения. Пыль, а также пары и газы, более тяжелые, чем воздух, скапливаются в нижних зонах помещения, где и следует располагать приемные устройства.

Рециркуляция воздуха в системе приточно-вытяжной вентиляции (рис. 7) применяется в холодное время года в целях экономии тепла, затрачиваемого на подогрев воздуха. При рециркуляции часть воздуха, удаляемого из помещений, после соответствующей очистки от производственных вредностей снова направляется в помеще-

ние. При этом необходимо соблюдать следующие условия: количество чистого воздуха, поступающего извне, должно составлять не менее 10 % от общего количества воздуха, подаваемого в помещение; воздух, поступающий в помещение, должен содержать не более 30% вредных веществ по отношению к их предельно допустимой концентрации (ПДК). Применение рециркуляции недопустимо в производственных помещениях, в воздушной среде которых могут быть вредные вещества 1-, 2- и 3-го классов опасности, неприятные запахи и болезнетворные микроорганизмы или возможно резкое увеличение концентрации вредных и взрывоопасных пылей, паров и газов (в помещениях категории А, Б, В по взрывопожарной опасности).

Неточности, допущенные при расчете вентиляционных установок, и отклонения от проекта, возникшие при монтаже, устраняют регулировкой системы вентиляции, обеспечивая на всех участках воздуховодов предусмотренные проектом расходы воздуха. Регулирование осуществляется либо изменением характеристики вентиляционной сети за счет ее сопротивления (с помощью регулирующих устройств — шиберов, дроссель-клапанов), либо изменением характеристики вентилятора за счет увеличения или уменьшения частоты вращения (скорости) рабочего колеса. После регулирования вентиляционную систему испытывают и сдают (по акту) обслуживающему персоналу. При испытании проверяют основные показатели системы: расход воздуха, температуру нагрева, влажность. Допустимые отклонения от проектных данных — по количеству воздуха ±10 %, по температуре подаваемого воздуха ±2 °С, по влажности воздуха ±5 %. На каждую вентиляционную установку составляют паспорт, в который заносят данные, характеризующие работу основных элементов. Должно быть обеспечено также правильное обслуживание установок: своевременная очистка фильтров и воздуховодов, проведение планового ремонта и др.

Местная вентиляция обеспечивает вентиляцию непосредственно у рабочего места, улавливая вредности при их выделении и предотвращая попадание этих вредных веществ в воздух производственного помещения и рабочей зоны.

По способу организации воздухообмена местная вентиляция разделяется на приточную и вытяжную.

При разработке проектов технологического оборудования машин, механизмов, станков, стендов, постов пайки необходимо предусматривать местные встроенные отсосы, которые должны обеспечить требуемый санитарно-гигиенический эффект и не препятствовать обслуживанию, наблюдению за рабочим процессом, ремонтно-монтажным работам. Таким образом, местные вентиляционные системы связаны с конструкцией оборудования, машин, станков, стендов, постов пайки и с рабочими местами обслуживания.

Отсосы, встроенные в рабочие места, применяют при пайке, сварке и пр. Различают отсосы с приемными отверстиями в вертикальной панели, в плоскости стола и над столом. Посты пайки оборудуют местными отсосами из зоны пайки и обжига. Для улавливания выделяющихся при пайке вредных паров обычно устанавливают местные отсосы в виде всасывающих круглых или прямоугольных отверстий с острыми кромками, устанавливаемых в вертикальной панели. Встроенные в инструменты (паяльники) отсосы могут быть кольцевыми или верхними. Кольцевой отсос с помощью полой трубки и гибкого шланга соединяется с магистральным воздуховодом. Верхний отсос представляет собой металлическую трубку, всасывающее отверстие которой располагают над концом паяющего стержня.

В помещениях, воздух которых загрязнен вредными парами, газами или пылью, количество приточного воздуха $G_{пр}$, м³/ч, доставляемого приточной вентиляцией, необходимого для разбавления вредных выделений до допустимых концентраций, рассчитывают по формуле

$$G_{пр} = \frac{W}{C_{уд} - C_{пр}}, \qquad (11)$$

где W — количество поступающих вредных выделений, г/ч; $C_{уд}$, $C_{пр}$ — концентрация вредных выделений в удаляемом и приточном воздухе, г/м³.

Объем удаляемого воздуха $G_{выт}$, м³/ч, при расчете местной вытяжной вентиляции определяется из выражения

$$G_{выт} = FV \cdot 3600, \qquad (12)$$

где F — площадь открытого сечения вытяжного устройства, м²; V — скорость движения всасываемого воздуха

в этом проеме (принимается от 0,5 до 1,7 м/с в зависимости от токсичности и летучести газов и паров).

При небольшом количестве выделяемых вредностей или если оно трудноопределимо расчет воздухообмена может быть произведен из выражения

$$K = \pm G/V, \qquad (13)$$

где K — кратность воздухообмена — отношение объема воздуха, м³/ч, подаваемого (+) за 1 ч в помещение или удаляемого (—) из него, к объему помещения V, м³. Выбрав кратность K из справочников по проектированию промышленных зданий, можно определить G.

Кондиционирование воздуха — это создание и автоматическое поддержание в помещениях независимо от наружных условий постоянных или изменяющихся по определенной программе температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, наиболее благоприятных для людей или требуемых для нормального протекания технологического процесса. Кондиционеры бывают полного и неполного кондиционирования воздуха. Установки полного кондиционирования воздуха обеспечивают постоянство параметров микроклимата (температуры, относительной влажности, подвижности и чистоты воздуха). Установки неполного кондиционирования поддерживают часть приведенных параметров.

Кондиционер состоит из трех основных частей (рис. 8): отделения смешения воздуха, промывной камеры и отделения второго подогрева. В отделении смешения воздух помещения смешивается в определенных соотношениях с наружным воздухом, а в холодное время подогревается калорифером первого подогрева. В промывной камере воздух очищается, увлажняется и охлаждается (в летнее время) водой, распыляемой форсунками. В отделении второго подогрева очищенный воздух вновь подогревается калорифером, его относительная влажность снижается до заданной, после чего воздух вентилятором направляется в воздуховод.

В СССР разработаны и используются такие новые технические средства и системы по кондиционированию воздуха:

кондиционеры, использующие так называемое «бросовое тепло» (на базе абсорбционных бромисто-литиевых холодильных машин);

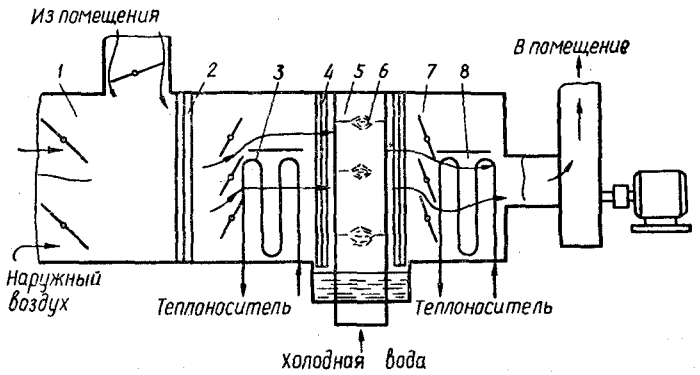


Рис. 8. Схема автоматического кондиционера:

1 — камера смешения воздуха; *2* — фильтр очистки воздуха от пыли; *3* — калорифер первичного подогрева; *4* — каплеотделитель (осушение воздуха); *5* — промывная камера; *6* — форсунки для охлаждения и увлажнения воздуха; *7* — камера второго подогрева с калорифером *8*

локальные термоэлектрические кондиционеры для передвижных машин (на основе полупроводниковых термобатарей) и др.

Учебно-поисковая задача

Пути создания оптимальных условий труда (зоны комфорта) на рабочих местах.

Условия труда определяются технологией производства, его организацией и трудовым процессом, с одной стороны, и окружающей работающего санитарно-гигиенической обстановкой — с другой.

К организации технологических производственных процессов относятся их механизация, внедрение полуавтоматических и автоматических способов производства, а также дистанционного управления оборудованием, применение роботов, манипуляторов и оборудования с программным управлением. Трудовой процесс требует определенного нервно-психического напряжения работающего, положения тела при работе.

К санитарно-гигиеническим условиям труда относятся метеорологические факторы (температура, влажность, скорость струи и давление воздуха), загрязнение воздуха парами, газами, пылью, а также шум, вибрация, электромагнитные и лазерные излучения, ионизирующая радиация.

Таким образом, для создания оптимальных условий труда (зоны комфорта) на рабочих местах любого производственного участка необходимо обеспечить:

механизацию и автоматизацию тяжелых и трудоемких работ, выполнение которых сопровождается избыточным теплообразованием в организме человека;

дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами, что исключает необходимость пребывания в зоне инфракрасного излучения;

рациональное размещение и теплоизоляцию оборудования, аппаратов, коммуникаций и других источников, излучающих на рабочие места конвекционное и лучистое тепло (температура наружных стенок этого оборудования не должна превышать 45 °С);

устройство защитных экранов, водяных и воздушных завес, защищающих рабочие места от теплового облучения, а также применение душирования;

устройство рациональных систем вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях и др.

Пример 1. Определить требуемый воздухообмен и его кратность для вентиляционной системы цеха завода, имеющего длину 60 м, ширину 12 м, высоту 6 м. В воздушную среду цеха выделяется пыль в количестве $W = 120$ г/ч (для данного вида пыли ПДК = 4 мг/м³), концентрация пыли в рабочей зоне $C_{р.з} = 2{,}8$ мг/м³, в приточном воздухе $C_п = 0{,}3$ мг/м³, концентрация пыли в удаляемом из цеха воздухе равна концентрации ее в рабочей зоне ($C_{ух} = C_{р.з}$), т. е. пыль равномерно распределена в воздухе. Количество воздуха, забираемого из рабочей зоны местными отсосами, равно $G_м = 1500$ м³/ч.

Р е ш е н и е. 1. Объем цеха $V = 60 \cdot 12 \cdot 6 = 4320$ м³.

2. Требуемый воздухообмен

$$G_{пр} = G_м + \frac{W - G_м (C_{р.з} - C_п)}{C_{р.з} - C_п},$$

то есть

$$G_{пр} = 1500 + \frac{120000 - 1500\,(2{,}8 - 0{,}3)}{2{,}8 - 0{,}3} = 48000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Кратность воздухообмена в цехе

$$K = \frac{G_{пр}}{V} = \frac{48000}{4320} = 11{,}1, \text{ 1/ч},$$

то есть за 1 ч воздух в цехе должен обмениваться 11,1 раза.

Глава 4

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

4.1. Основные светотехнические величины, виды и системы освещения, требования к производственному освещению

Организация рационального освещения рабочих мест — один из основных вопросов охраны труда. При неудовлетворительном освещении резко снижается про-

изводительность труда, возможны несчастные случаи, появление близорукости, быстрая утомляемость.

В зависимости от источника света производственное освещение может быть трех видов: естественное, искусственное и совмещенное.

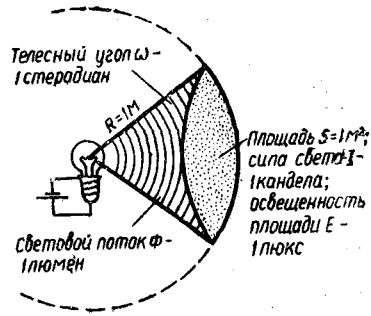


Рис. 9. Схема, иллюстрирующая светотехнические понятия

Освещение характеризуется количественными и качественными показателями (рис. 9). К количественным показателям относятся: световой поток, сила света, освещенность, яркость.

Световой поток Φ — это часть лучистого потока, которая воспринимается зрением человека как свет (измеряется в люменах — лм).

Сила света I — величина, оценивающая пространственную плотность светового потока и представляющая собой отношение светового потока $d\Phi$ к телесному углу $d\omega$, в пределах которого световой поток распространяется:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}. \qquad (14)$$

За единицу силы света принята кандела (кд).

Освещенность E — поверхностная плотность светового потока, представляет собой отношение светового потока $d\Phi$, падающего на элемент поверхности dS, к площади этого элемента:

$$E = \frac{d\Phi}{dS}. \qquad (15)$$

За единицу освещенности принят люкс (лк) — при световом потоке в 1 лм на площади в 1 м^2.

Яркость поверхности L — отношение силы света, излучаемого в рассматриваемом направлении, к площади светящейся поверхности, кд/м^2:

$$L = I/S. \qquad (16)$$

Коэффициент отражения ρ определяется как отношение отраженного от поверхности светового потока $\Phi_{отр}$ к падающему на нее световому потоку $\Phi_{пад}$:

$$\rho = \Phi_{отр}/\Phi_{пад}. \qquad (17)$$

К основным качественным показателям освещения относятся: фон, контраст объекта с фоном, видимость, показатель ослепленности и дискомфорта, коэффициент пульсации.

Фон — поверхность, прилегающая непосредственно к объекту, на которой он рассматривается.

Видимость — способность глаза человека воспринимать объект при освещенности от 0,1 до 100 000 лк.

Показатель ослепленности — критерий оценки слепящего действия, создаваемого осветительной установкой.

Основная задача освещения на производстве — создание наилучших условий для видения. Эту задачу возможно решить только осветительной системой, отвечающей следующим требованиям:

освещенность на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы, который определяется тремя параметрами: объектом различения — наименьшим размером рассматриваемого объекта (при работе с приборами — толщина линии градуировки шкалы, при чертежных работах — толщина самой тонкой линии на чертеже и т. п.); фоном — при $\rho > 0{,}4$ фон считается светлым, при $\rho = 0{,}2...0{,}4$ — средним и при $\rho < 0{,}2$ — темным; контрастом объекта с фоном

$$K = \frac{L_o - L_ф}{L_ф}, \qquad (18)$$

где L_o и $L_ф$ — яркость соответственно объекта и фона (при $K > 0{,}5$ контраст большой, при $K = 0{,}2 \ldots 0{,}5$ — средний, при $K < 0{,}2$ — малый);

необходимо обеспечить достаточно равномерное распределение яркости на рабочей поверхности, а также в пределах окружающего пространства;

на рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени;

в поле зрения не должно быть прямой и отраженной блескости (повышенной яркости светящихся поверхностей, вызывающей ослепление);

величина освещенности должна быть постоянной во времени;

следует выбирать оптимальную направленность светового потока и необходимый спектральный состав света;

все элементы осветительных установок должны быть долговечными, электро- и пожаробезопасными;

установка должна быть удобной и простой в эксплуатации, отвечать требованиям эстетики.

4.2. Естественное освещение

Для естественного освещения характерна высокая диффузность (рассеянность) дневного света от небосвода, что весьма благоприятно для зрительных условий работы.

Естественное освещение подразделяют на боковое, осуществляемое через световые оконные проемы; верхнее, осуществляемое через аэрационные и зенитные фонари, проемы в перекрытиях; комбинированное — боковое с верхним.

Естественное освещение характеризуется тем, что создаваемая освещенность изменяется в чрезвычайно широких пределах в зависимости от времени дня, года, метеорологических факторов. Поэтому естественное освещение невозможно количественно задавать величиной освещенности. В качестве нормируемой величины для естественного освещения принята относительная величина — коэффициент естественной освещенности (КЕО), который представляет собой выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке внутри помещения $E_в$ к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности $E_н$, создаваемой светом полностью открытого небосвода, то есть

$$КЕО(e) = \frac{E_в}{E_н} \cdot 100. \qquad (19)$$

Таким образом, КЕО оценивает размеры оконных проемов, вид остекления и переплетов, их загрязнение, то есть способность системы естественного освещения пропускать свет.

Естественное освещение в помещениях регламентируется нормами СНиП II-4-79. Нормированное значение КЕО ($e_н$), определяемое по таблице с учетом характера врительной работы (8 разрядов I — VIII), системы осве-

щения, района расположения здания предприятия на территории СССР, следует уточнять по формуле

$$e_н = emc, \qquad (20)$$

где m — коэффициент светового климата (определяется в зависимости от расположения здания на территории СССР); территория СССР по световому климату разделена на V поясов (I — самый северный, V — самый южный):

Пояс	I	II	III	IV	V
Значение m	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8

c — коэффициент солнечности климата, определяемый по нормативным таблицам в зависимости от ориентации здания относительно сторон света ($c = 0{,}65 \ldots 1$).

Для каждого производственного помещения строится кривая значений КЕО в характерном сечении — в месте пересечения вертикальной плоскости (по оси оконного проема) и горизонтальной плоскости на расстоянии 0,8 м над уровнем пола (условная рабочая поверхность). При боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО, в помещениях с верхним и комбинированным освещением — среднее значение. Например, для помещений, где хранятся автомобили, машины, механизмы и другое оборудование, КЕО принимают: при верхнем, комбинированном и боковом освещении в среднем — 0,5 %; для помещений, предназначенных для технического обслуживания и ремонтов автомобилей и других машин, при верхнем и комбинированном освещении — в среднем 3 %, а при боковом — не менее 1 %. Минимальный КЕО в зависимости от точности работы при верхнем и комбинированном освещении нормируется в пределах от 10 до 2 %, а при боковом освещении от 3,5 до 0,5 %. По данным измерений определяют КЕО в характерных точках помещения и делают выводы о соответствии или несоответствии их требуемым нормам.

Расчет естественного освещения при боковом освещении сводится к определению суммарной площади окон ΣF, м²:

$$\Sigma F = \frac{S_п e_н \eta_о K}{100 \tau_о r_1}, \qquad (21)$$

где $S_п$ — площадь пола, м²; $e_н$ — нормированное значение КЕО; $\eta_о$ — световая характеристика окон; K — коэффициент, учитывающий затенение окон соседними зда-

ниями ($K = 1...1,7$); $\tau_о$ — общий коэффициент светопропускания оконного проема с учетом затенения ($\tau_о = 0,15...0,6$); r_1 — коэффициент, учитывающий отражение света от внутренних поверхностей помещения ($r_1 = 1...10$).

4.3. Искусственное освещение

Искусственное освещение предусматривается во всех производственных и бытовых помещениях, где недостаточно естественного света, а также для освещения помещений в ночное время.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяют на рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное, дежурное. *Рабочее освещение* обеспечивает зрительные условия нормальный работы, прохода людей и движения транспорта. *Аварийное освещение* устраивают для продолжения работы при внезапном отключении рабочего освещения. При этом нормируемая освещенность должна составлять 5 % от рабочего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территории предприятий. *Эвакуационное освещение* предусматривается для эвакуации людей из помещений при авариях в местах, опасных для прохода людей, на лестничных клетках (должно быть в помещениях не менее 0,5, а на открытых территориях — не менее 0,2 лк). Для *охранного освещения* площадок предприятий и *дежурного освещения* помещений выделяют часть светильников рабочего или аварийного освещения.

В качестве источников света применяют газоразрядные лампы или лампы накаливания. Совокупность источника света и осветительной арматуры представляет собой светильник. Наиболее важными функциями осветительной арматуры являются предохранение глаз работающих от чрезмерно больших яркостей источников света, а также перераспределение светового потока лампы, которое повышает эффективность осветительной установки. По распределению светового потока в пространстве различают светильники прямого, рассеянного и отраженного света, а по конструктивному исполнению — светильники открытые, закрытые, защищенные, пыленепроницаемые, влагозащитные, взрывозащищенные, взрывобезопасные. По назначению светильники делятся на светильники общего и местного освещения.

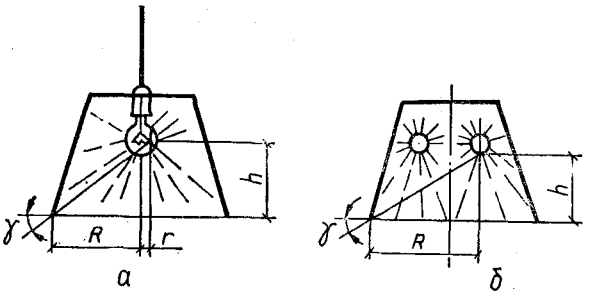


Рис. 10. Защитный угол светильника:
а — с лампой накаливания; *б* — с люминесцентными лампами

Искусственное освещение может быть общим (равномерным или локализованным) и комбинированным (к общему добавляется местное). Применение только местного освещения запрещается.

Освещенность рабочей поверхности, создаваемая светильниками общего освещения, должна составлять 10 % нормируемой для комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного освещения. Для общего освещения в системе комбинированного рекомендуется применять газоразрядные лампы независимо от типа источника света местного освещения. Неравномерность освещенности, создаваемая светильниками общего освещения в зоне расположения рабочих мест, должна быть как можно меньше. Освещение не должно вызывать ослепленности. Показатель ослепленности p служит для оценки слепящего действия осветительной установки и подсчитывается по выражению

$$p = (w - 1) \cdot 100\ \%, \qquad (22)$$

где w — коэффициент ослепленности.

Для предотвращения ослепленности светильник местного освещения должен иметь глубокие отражатели из непросвечивающего материала или из стекла молочного цвета. Защитный угол γ отражателя (рис. 10), показывающий меру прикрытия ярких частей лампы (нити накала) от глаз, должен быть не менее 30°.

Ограничение слепимости достигается соблюдением условия: отношение осевой силы света прожектора I_0, кд, к квадрату высоты установки H, м, не должно превышать 300, то есть $I_0/H^2 \leqslant 300$, откуда

$$H = \sqrt{I_0/300}. \qquad (23)$$

Минимальная освещенность устанавливается по характеристике зрительной работы с наименьшим размером объекта различения, контрастом объекта с фоном и характеристикой фона. Различают 8 разрядов и 4 подразряда работ в зависимости от степени зрительного напряжения.

К I разряду относятся зрительные работы наивысшей точности (минимальный размер объекта различения $\delta < 0{,}15$ мм); к IV — работы очень малой точности ($\delta > 5$ мм); к VII разряду отнесены работы со светящимися материалами и изделиями в горячих цехах; к VIII — работы, связанные с общим наблюдением за ходом производственного процесса с постоянным или периодическим присутствием людей. Для первых пяти разрядов (I—V), имеющих по четыре подразряда (а, б, в, г), нормируемые значения освещенности зависят не только от минимального размера объекта различения, но и от контраста объекта различения с фоном и характеристики фона. Наибольшая нормируемая освещенность составляет 5000 лк (разряд 1а), наименьшая — 30 лк (разряд VIII в). При условиях, затрудняющих или облегчающих зрительную работу, повышающих опасность травматизма или требующих улучшения санитарных условий, уровни нормируемой освещенности должны быть повышены или понижены. Для первых четырех разрядов рекомендуется использовать комбинированную систему освещенности. Для исключения неравномерности освещенности отношение максимальной освещенности к минимальной не должно превышать для работ I—III разрядов при люминесцентных лампах 1,5 и при других — 2; для работ IV—VII разрядов — соответственно 1,8 и 3.

4.4. Расчет искусственного освещения

Задачей расчета является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания в производственном помещении заданной освещенности.

При проектировании осветительной установки необходимо решить следующие основные вопросы:

выбрать тип источника света — рекомендуются газоразрядные лампы, за исключением мест, где температура воздуха может быть менее +5 ° С и напряжение в сети падать ниже 90 % номинального, а также местного

освещения (в этих случаях применяются лампы накаливания);

определить систему освещения (общая локализованная или равномерная, комбинированная);

выбрать тип светильников с учетом характеристик светораспределения, условий среды (конструктивного исполнения) и др.;

распределить светильники и определить их количество (светильники могут располагаться рядами, в шахматном порядке, ромбовидно);

определить норму освещенности на рабочем месте.

Для расчета искусственного освещения используют в основном три метода.

Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. Световой поток лампы $\Phi_л$, лм, при лампах накаливания или световой поток группы ламп светильника при люминесцентных лампах рассчитывают по формуле

$$\Phi_л = \frac{E_н S z k}{N n \eta}, \qquad (24)$$

где $E_н$ — нормированная минимальная освещенность, лк; S — площадь освещаемого помещения, м^2; z — коэффициент неравномерности освещения ($z = 1{,}1...1{,}5$); k — коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности из-за загрязнения и старения лампы ($k=1{,}2...1{,}7$); N — число светильников; n — число ламп в светильнике; η — коэффициент использования осветительной установки ($\eta = 0{,}2...0{,}7$); значение η определяют в зависимости от показателя помещения

$$i = \frac{AB}{H_р (A + B)}, \qquad (25)$$

где A и B — длина и ширина помещения, м; $H_р$ — высота светильников над рабочей поверхностью, м.

Подсчитав световой поток лампы $\Phi_л$, по таблице подбирают ближайшую стандартную лампу и определяют электрическую мощность всей осветительной установки.

Точечный метод применяют для расчета локализованного и комбинированного освещения, освещения наклон-

ных и вертикальных плоскостей. В основу точечного метода положено уравнение

$$E = \frac{I_\alpha \cos \alpha}{r^2}, \qquad (26)$$

где I_α — сила света в направлении от источника на данную точку рабочей поверхности, кд; r — расстояние от светильника до расчетной точки, м; α — угол падения световых лучей, то есть угол между лучом и перпендикуляром к освещаемой поверхности. Для практического использования в формулу подставляют коэффициент запаса k и значение

$$r = H_р/\cos \alpha, \text{ откуда } E = I_\alpha \cos^3 \alpha/(kH_р). \qquad (27)$$

Данные о распределении силы света I_α приводятся в светотехнических справочниках. При необходимости расчета освещенности в точке, создаваемой несколькими светильниками, подсчитывают освещенность от каждого из них, а затем полученные значения складывают.

Метод удельной мощности является наиболее простым, но и наименее точным, поэтому его применяют только при ориентировочных расчетах. Этот метод позволяет определить мощность каждой лампы $P_л$, Вт, для создания в помещении нормируемой освещенности:

$$P_л = \frac{pS}{n}, \qquad (28)$$

где p — удельная мощность, Вт/м^2 (принимается из справочника для помещений данной отрасли); S — площадь помещения, м^2; n — число ламп в осветительной установке.

Определенной особенностью характеризуется расчет прожекторного освещения, применяемого обычно при необходимости освещения открытых пространств площадью более 5000 м^2 (строительных площадок, заводских дворов, территорий складов, автопредприятий, погрузочно-разгрузочных площадок и т. п.). Основными типами применяемых для этих целей прожекторов являются прожекторы заливающего света типа ПЗС-45, ПЗС-35, ПЗС-25 и другие (с лампами накаливания мощностью 1000, 500, 300, 150 Вт и др.).

При расчете прожекторного освещения выбираются нормируемая освещенность и коэффициент запаса, учитывающий старение и запыление ламп. Затем подбирается тип прожектора, наименьшая высота его установки из

условий слепимости (формула (23)), проектируются расстановка мачт и углы наклона прожекторов в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Основными характеристиками прожектора являются кривая силы света, угол рассеяния, коэффициент усиления и коэффициент полезного действия. Пучок света прожектора представляет собой конус с вершиной в точке расположения тела накала источника света, где сила света наибольшая в направлении оптической оси прожектора и уменьшающаяся к периферии.

Ориентировочно необходимое число прожекторов n по методу светового потока может быть определено из выражения

$$n = \frac{E_н S k}{\Phi_л m \eta}, \qquad (29)$$

где $E_н$ — нормативная освещенность, лк; S — площадь, подлежащая освещению, м^2; k — коэффициент запаса (обычно принимается в пределах 1,25—1,5 за исключением особо пыльных условий, для которых принимается $k = 1{,}7$); $\Phi_л$ — световой поток лампы выбранного типа прожектора, лм; $\eta = 0{,}35 — 0{,}4$ — коэффициент полезного действия прожектора; $m = 0{,}7 — 0{,}9$— коэффициент использования светового потока.

4.5. Эксплуатация и контроль осветительных установок

Искусственное и естественное освещение может быть эффективно только при тщательном обслуживании входящих в состав системы узлов и устройств. Вследствие продолжительной эксплуатации ламп (накаливания и люминесцентных) их световой поток снижается соответственно на 10—15 и 20—25 %. Тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения имеет важное значение для создания рациональных условий освещения. Чистка стекол световых проемов должна производиться не реже двух раз в год для помещений с незначительным выделением пыли и не реже четырех раз в год при значительном выделении пыли; для светильников — 4—12 раз в год (в зависимости от характера запыленности производственного помещения). Для различных предприятий отраслей устанавливаются конкретные требования в инструкциях, отража-

ющих специфику данного производства. Так, для производственных помещений, предназначенных для технического обслуживания автомобилей, светильники общего освещения должны очищаться два раза в месяц, а местного освещения — каждую смену. Прежде чем очищать светильники, необходимо их предварительно обесточить. Светильники общего и местного освещения, подвешенные ниже 2,5 м от уровня пола, должны иметь напряжение не выше 42 В. При слесарно-монтажных работах, техническом обслуживании и ремонтах машин, автомобилей и другого оборудования необходимо пользоваться переносными источниками света (ручными светильниками) с напряжением не выше 42 В, а при работах в особо опасных условиях (резервуары, канавы, колодцы, тоннели) — не выше 12 В. Конструкция ручного переносного светильника должна исключать всякую возможность прикосновения к токоведущим частям. При эксплуатации осветительной установки необходимо периодически проверять: состояние изоляции проводов, уровень освещенности в контрольных точках производственного помещения (не реже одного раза в год после очередной чистки светильников и замены перегоревших ламп). Основной прибор для измерения освещенности — объективный люксметр.

Учебно-поисковая задача

Гигиеничность осветительных установок.

Гигиеническая оценка осветительных установок должна начинаться с ознакомления с характером зрительной работы на конкретном предприятии, изучения технологического процесса и оборудования. При этом необходимо установить:

наличие постоянных рабочих мест или фиксированных зон обслуживания в цехе;

характер зрительной работы на каждом рабочем месте, минимальные размеры объектов различения и расстояния от них до глаз работающего, коэффициенты отражения рабочих поверхностей и объектов различения, расположение рабочих поверхностей в пространстве (горизонтальное, вертикальное, наклонное), желательное направление световых лучей, особые условия зрительной работы (различение цветовых оттенков, наличие движущихся объектов различения, возможность увеличения контраста объекта с фоном и осветительными средствами и т. п.);

наличие и расположение частей машин и станков, опасных в отношении травматизма;

расположение частей оборудования, обрабатываемых изделий и строительных конструкций зданий, которые могут создать тени на рабочих поверхностях;

строительные характеристики обследуемого помещения: материалы стен и перекрытий, расположение светопроемов, колонн, ферм;

условия среды: нормальная, пыльная, влажная;

требование бесперебойности работы осветительной установки.

Пример 2. В цехе размером $18 \times 60 \times 4{,}5$ м требуется создать освещенность $E_н = 300$ лк. Коэффициент отражения потолка $\rho_{пот} = 70$ % и стен $\rho_с = 50$ %. Для освещения используются люминесцентные лампы типа ЛБ в светильниках ЛДОР.

Решение. 1. Находим индекс помещения

$$i = \frac{AB}{H_р (A + B)} = \frac{18 \cdot 60}{4{,}5 (18 + 60)} = 3{,}07.$$

Принимаем коэффициент запаса $k = 1{,}6$ и коэффициент неравномерности освещения

$$z = E_{ср}/E_{мин} = 1{,}1.$$

При индексе $i = 3{,}07$ из табл. 1 получим $\eta = 62$ %.

Таблица 1. **Коэффициенты использования η**

Тип светильника	Значения коэффициентов отражения			Значения η, %, при индексах помещения i											
	$\rho_{пот}$	$\rho_с$	$\rho_{пол}$	1	1,1	1,25	1,5	1,76	2	2,25	2,5	3	3,5	4	5
Астра	70	50	10	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
УДП, ДРЛ	70	50	10	47	50	53	56	58	66	62	63	66	67	69	70
УДП, ДРЛ	50	30	10	41	43	47	50	53	56	57	59	60	61	63	66
ЛДОР	70	50	10	43	45	47	51	54	56	58	60	62	63	64	67

2. Светильники размещаем в четыре ряда ($N_р = 4$).

3. Определяем необходимый световой поток ламп в каждом ряду:

$$\Phi_р = \frac{E_н S z k}{N_р \eta} = \frac{300 \cdot 1080 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}6}{4 \cdot 0{,}62} \approx 230000 \text{ лм}.$$

4. Если в светильнике установить по две лампы ЛБ ($n = 2$) мощностью 40 Вт и световым потоком $\Phi_л = 3000$ лм, то необходимое число светильников в ряду составит

$$N = \frac{\Phi_р}{n \Phi_л} = \frac{230000}{2 \cdot 3000} = 38.$$

Глава 5

ЗАЩИТА ОТ ШУМА, УЛЬТРАЗВУКА И ИНФРАЗВУКА

5.1. Физические характеристики шума

Научно-технический прогресс во всех отраслях промышленности и на транспорте сопровождается разработкой и широким внедрением разнообразного оборудования, станков и транспортных средств. Рост мощностей современного оборудования, машин, бытовой техники, быстрое развитие всех видов транспорта привели к тому, что человек на производстве и в быту постоянно подвергается воздействию шума высокой интенсивности. Шум оказывает вредное влияние на весь организм и в первую очередь на центральную нервную и сердечно-сосудистую системы. Длительное воздействие интенсивного шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях — к глухоте. Шум на производстве неблагоприятно воздействует на работающего: ослабляет внимание, ускоряет утомление, замедляет скорость психических реакций, затрудняет своевременную реакцию на опасность. Все это снижает работоспособность и может стать причиной несчастного случая. Поэтому вопросы борьбы с шумом в настоящее время имеют большое значение во всех областях техники.

Шумом принято называть всякий нежелательный для человека звук, мешающий восприятию полезных сигналов. Шум представляет собой беспорядочное сочетание звуков различной интенсивности и частоты. Шум бывает: механического происхождения, возникающий вследствие вибрации поверхностей машин и оборудования, а также одиночных или периодических ударов в сочленениях деталей и конструкций; аэродинамического происхождения (при истечении сжатого воздуха или газа); гидромеханического происхождения (при истечении жидкостей); воздушный, распространяющийся в воздушной среде; электромагнитного происхождения, возникающий вследствие колебаний элементов электромеханических устройств под влиянием переменных магнитных сил.

Основными источниками шума электрической и радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) являются:

трансформаторное оборудование (силовые трансформаторы, трансформаторы цепей управления, трансфор-

маторы тока, дроссели насыщения, сглаживающие и компенсирующие реакторы, индуктивные накопители и др);

оборудование систем охлаждения (вентиляторы, насосы, электродвигатели и др.);

защитные оболочки.

Одной из главных причин возникновения шума трансформаторов является магнитострикция (изменение размеров пластин сердечников) под воздействием магнитного потока. Шум трансформаторов имеет основную частоту, равную удвоенной частоте питающей сети. На шум трансформаторов влияет ряд факторов: магнитная индукция, габаритные размеры, технология и качество изготовления магнитопроводов.

С физической стороны шум характеризуется звуковым давлением, интенсивностью звука, частотой и другими параметрами. Пространство, в котором распространяются звуковые волны, называется *звуковым полем*. Давление и скорость движения частиц воздуха в каждой точке звукового поля изменяются во времени. В результате колебаний, создаваемых источником звука, в воздухе возникает звуковое давление, которое накладывается на атмосферное. Частота звука характеризуется числом колебаний звуковой волны в единицу времени (секунду) и измеряется в герцах (Гц).

Таким образом, в качестве звука человек воспринимает упругие колебания, распространяющиеся волнообразно в твердой, жидкой и газообразной среде. Звуковые волны возникают при нарушении стационарного состояния среды вследствие воздействия на нее какой-либо возмущающей силы. Частицы среды при этом начинают колебаться относительно положения равновесия, причем скорость таких колебаний (колебательная скорость v) значительно меньше скорости распространения волны (скорости звука). Разность между атмосферным давлением и давлением в данной точке звукового поля принято считать звуковым давлением P, которое выражается в паскалях (Па). Распространение звуковой волны сопровождается переносом энергии. Средний поток энергии в какой-либо точке среды в единицу времени, отнесенный к единице поверхности, нормальной к направлению распространения волны, называется *интенсивностью (силой) звука* в данной точке I, Вт/м^2. Ухо человека воспринимает звуки с частотой от 16 до 20000 Гц (акустические звуки). Неслышимые человеком колебания с частотой ме-

нее 16 Гц называются *инфразвуковыми*, а колебания с частотой выше 20 кГц — *ультразвуковыми*.

В акустике измеряют не абсолютные значения интенсивности звука или звукового давления, а их логарифмические уровни L, взятые по отношению к пороговому значению интенсивности звука или пороговому звуковому давлению. Одному белу соответствует увеличение интенсивности звука на пороге слышимости в 10 раз (при $I/I_0 = 10$ $L = 1$Б; при $I/I_0 = 100$ $L = 2$Б и т. д.). Установлено, что орган слуха человека способен различать прирост звука на 0,1 Б (бел), то есть на 1 дБ (децибел), а поэтому уровень интенсивности звука измеряют в децибелах L, дБ:

$$L = 10 \lg (I/I_0), \qquad (30)$$

где I — интенсивность звука в данной точке, Вт/м^2; I_0 — интенсивность звука, соответствующая порогу слышимости на частоте 1000 Гц ($I_0 = 10^{-12}$ Вт/м^2).

Так как интенсивность звука пропорциональна квадрату звукового давления, уровень интенсивности звука можно определить также исходя из величины звукового давления:

$$L = 10 \lg (I/I_0) = 10 \lg (P^2/P_0^2) = 20 \lg (P/P_0), \qquad (31)$$

где P — звуковое давление в данной точке, Па (Н/м^2), $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па — пороговое звуковое давление (на пороге слышимости). На пороге болевого ощущения $P_{max} = 2 \cdot 10^2$ Па.

В диапазоне от порога слышимости до болевого порога ($I_{max} = 10^2$ Вт/м^2) сила (интенсивность) звука увеличивается в миллиарды раз ($I_{max}/I_0 = 10^2/10^{-12} = 10^{14}$). Такой огромный диапазон звуков доступен человеку благодаря способности его слухового органа реагировать не на абсолютную интенсивность звука, а на его прирост, называемый уровнем интенсивности звука, который характеризуется как логарифм отношения двух сравнительных сил звука (рассматриваемого и на пороге слышимости). Таким образом, слышимый диапазон звуков укладывается в 140 дБ.

Шум может быть представлен в виде суммы гармонических колебаний (рис. 11, *а*, *б*, *в*). Разложение шума на гармонические составляющие (на отдельные тона) называется спектральным анализом. В зависимости от характера шума его спектр может быть дискретным (рис. 11, *г*),

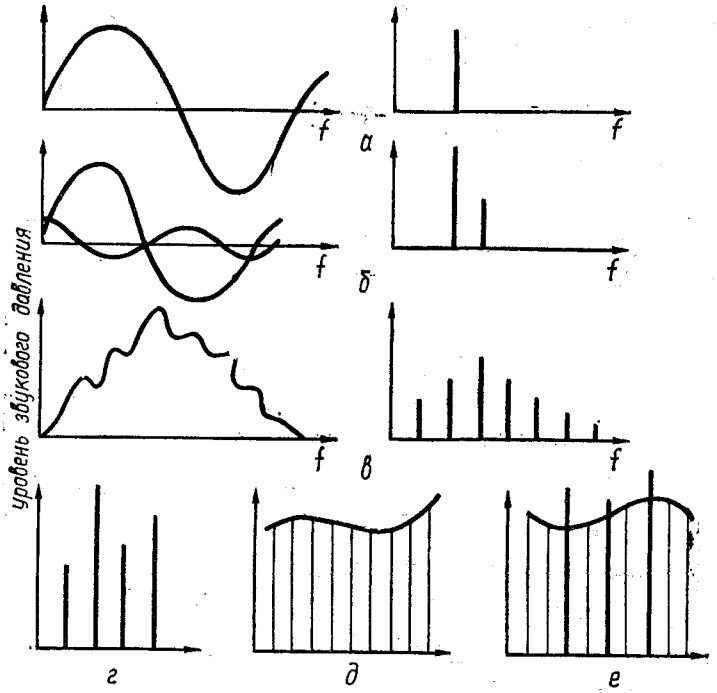


Рис. 11. Характеристики шумов:
а, б, в — графики колебаний; *г, д, е* — спектры

непрерывным (рис. 11, *д*) или смешанным (рис. 11, *е*). Звуковой диапазон частот делится на три области: низкочастотную (16—400 Гц), среднечастотную (400—1000 Гц) и высокочастотную (1000—20000 Гц). Наиболее чувствительно ухо к колебаниям в диапазоне частот от 1000 до 3000 Гц.

При анализе шума спектр (диапазон звуковых частот) разбивают на октавные полосы, в которых верхняя частота в два раза больше нижней. Полоса характеризуется среднегеометрической частотой $f_{с.г.}$, Гц;

$$f_{с.г} = \sqrt{f_в f_н}, \qquad (32)$$

где $f_в$ и $f_н$ — граничная верхняя и нижняя частоты полосы, Гц. Среднегеометрические частоты приняты следующие: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. За эталонную частоту при нормировании уровня шума принята частота 1000 Гц.

5.2. Измерение шума на рабочем месте

Измерение шума производится шумомерами совместно с анализаторами спектра шума АШ-2М. Широкое распространение получили отечественные шумомеры ШУМ-1, ИШВ-1, Ш-63, Ш-71 (в комплекте с октавными фильтрами), а также типа *RFT* (ГДР) и фирмы «Брюль и Къер» (Дания). Это приборы, в которых звук, воспринимаемый микрофоном, преобразуется в электрические колебания, которые затем усиливаются и, пройдя корректирующие фильтры и выпрямитель, регистрируются стрелочным прибором. Шум на рабочих местах измеряется на уровне уха работающего при включении не менее 2/3 установленного оборудования.

Акустическим рабочим местом называется область звукового поля, в которой находится рабочий. В большинстве случаев рабочим местом считается зона звукового поля на расстоянии 0,5 м от машины со стороны рабочих органов пульта управления и на высоте 1,5 м от пола.

Измерение шума производят в следующей последовательности:

выявляют наиболее шумное оборудование и измеряют спектры шума на рабочих местах;

определяют время за смену, в течение которого работающий подвергается воздействию шума;

сравнивают значения измеренных уровней шума со значениями предельного спектра по санитарным нормам.

Можно произвести акустический расчет ожидаемого уровня шума на рабочих местах.

Если имеется n источников одинакового шума, а уровень интенсивности звука одного источника L_1, то суммарный уровень шума можно определить из выражения

$$L_{\text{сум}} = L_1 + 10 \lg n. \qquad (33)$$

При n, равном, 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 20; 30 и 100, значения $10 \lg n$ соответственно принимают: 0; 3; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 13; 15; 20.

При двух различных источниках шума L_1 и L_2 суммарный уровень шума можно определить из выражения $L_{\text{сум}} = L_1 + \Delta L$, где L_1 — наибольший из двух суммарных уровней шума, дБ; $\Delta L = L_1 - L_2$ — добавка в функции разности уровней шума источников (при $L_1 > L_2$). Значениям разности $L_1 - L_2$, дБ: 1; 2; 3; 4; 6; 7;

8; 9; 10 соответствуют значения добавки ΔL, дБ: 3; 2,2; 1,7; 1,6; 1,5; 1,0; 0,8; 0,6; 0,5; 0,4.

При большем чем два числе источников шума уровни интенсивности суммируются последовательно — от наибольшего к наименьшему. Например, нужно узнать суммарный уровень шума от трех станков с уровнями шума 102, 98 и 97 дБ. Определяем первую разность уровней: 102 — 98 = 4 дБ, что соответствует добавке $\Delta L_1 = L_1 - L_2 = 1{,}5$ дБ, то есть $L_{сум1} = 102 + 1{,}5 = 103{,}5$ дБ. Теперь определяем следующую разность уровней $\Delta L_2 = L_{сум1} - L_3 = 103{,}5 - 97 = 6{,}5$ дБ, что соответствует добавке $\Delta L_2 = 1$ дБ, то есть $L_{сум2} = L_{сум1} + \Delta L_2 = 103{,}5 + 1 = 104{,}5$ дБ.

Если разность уровней двух источников шума не превышает 8—10 дБ, то уровень менее громкого источника можно не учитывать, так как добавка будет меньше 1 дБ.

Уменьшение интенсивности звука при распространении сферической волны в открытом пространстве приближенно пропорционально квадрату расстояния от источника звука.

Зная интенсивность звука I_1 и расстояния от источника звука r_1 и r_2, интенсивность звука I_2 можно определить из выражения

$$I_2 = I_1 (r_1/r_2)^2. \qquad (34)$$

Перейдя к уровням интенсивности звука, получим выражение

$$L_2 = L_1 - 20 \lg \frac{r_2}{r_1}. \qquad (35)$$

Например, если $L_1 = 80$ дБ, $r_1 = 2$ м, $r_2 = 4$ м, то

$$L_2 = 80 - 20 \lg \frac{4}{2} = 74 \text{ дБ}.$$

Искомый уровень интенсивности L, дБ, при одновременной работе источников шума можно определить из выражения

$$L = 10 \lg (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}), \qquad (36)$$

где L_1, L_2, ..., L_n — уровни звукового давления или уровни интенсивности, создаваемые каждым источником в расчетной точке.

5.3. Характеристики источников шума

Зависимость среднеквадратичных значений синусоидальных составляющих шума (или соответствующих им уровней в дБ) от частоты называется *частотным спектром* или просто *спектром*. Спектры получают, используя анализаторы шума — набор электрических фильтров, которые пропускают сигнал в определенной полосе частот. Наибольшее распространение получили фильтры с постоянной полосой пропускания (октавные фильтры). Измерения спектров шума в октавных полосах проводят для сравнения шума машин, нормирования и др.

Для ориентировочной оценки шума, спектр которого неизвестен, используется характеристика А, показывающая уровень звука в дБА (А обозначает автоматическую подстройку слухового органа человека на данную частоту). Шумы подразделяют на постоянные, уровни звука которых за 8-часовой рабочий день изменяются во времени не более чем на 5 дБА, и непостоянные (прерывистые, импульсные и колеблющиеся во времени), для которых это изменение более 5 дБА.

В соответствии с ГОСТ 12.1.024—81 и ГОСТ 12.1.025—81 шумовыми характеристиками, которые указываются в технической документации машины, являются:

уровни звуковой мощности шума L_p в октавных полосах среднегеометрических частот 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц;

характеристики направленности излучения шума машиной.

5.4. Нормирование шума

Область слышимых звуков ограничивается не только определенными частотами, но и определенными предельными значениями звуковых давлений и их уровней. Патологические изменения, возникшие под влиянием шума, рассматривают как шумовую болезнь, когда шум вызывает нежелательную реакцию всего организма человека. В связи с этим необходимо систематически контролировать уровень шума на рабочих местах, защищать работающих от вредного действия шума.

При нормировании шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума и нормирование

уровня звука в дБА. *Первый метод* нормирования является основным для постоянных шумов. Здесь нормируются уровни звуковых давлений в восьми октавных полосах частот (шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значения которых приведены в ГОСТ 12.1.003—83). Совокупность восьми допустимых уровней звукового давления называется *предельным спектром* (ПС). Причем, с ростом частоты (более неприятный шум) допустимые уровни уменьшаются. Каждый из спектров имеет свой индекс ПС, например ПС-80, где цифра 80 — допустимый уровень звукового давления в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц (при частоте 63 Гц — 99 дБ, при 125 Гц — 92 дБ, при 250 Гц — 86 дБ, при 500 Гц — 83 дБ, при 1000 Гц — 80 дБ, при 2000 Гц — 78 дБ, при 4000 Гц — 76 дБ, при 8000 Гц — 74 дБ и эквивалентные уровни звука — 85 дБА).

Второй метод нормирования общего уровня шума, измеренного по шкале А шумомера и называемого уровнем звука в ДБА, используется для ориентировочной оценки постоянного и непостоянного шума, так как в этом случае мы не знаем спектра шума. Уровень звука (дБА) связан с предельным спектром (ПС при частоте 1000 Гц в дБ) зависимостью

$$L_A = \text{ПС} + 5. \qquad (37)$$

Для тонального и импульсного шума допустимые уровни должны приниматься на 5 дБ меньше значений, приведенных в санитарных нормах и ГОСТ ССБТ. Нормирование шума в жилых и общественных зданиях и на их территориях производится по СНиП.

5.5. Методы борьбы с шумом

Для снижения шума можно применять следующие методы (рис. 12):

уменьшение шума в источнике (уменьшение L_p) улучшением конструкций машин за счет точности изготовления узлов и др.;

уменьшение механического шума путем совершенствования технологических процессов и оборудования (балансировка вращающихся элементов машин, применение пластмассовых шестерен вместо стальных и др.);

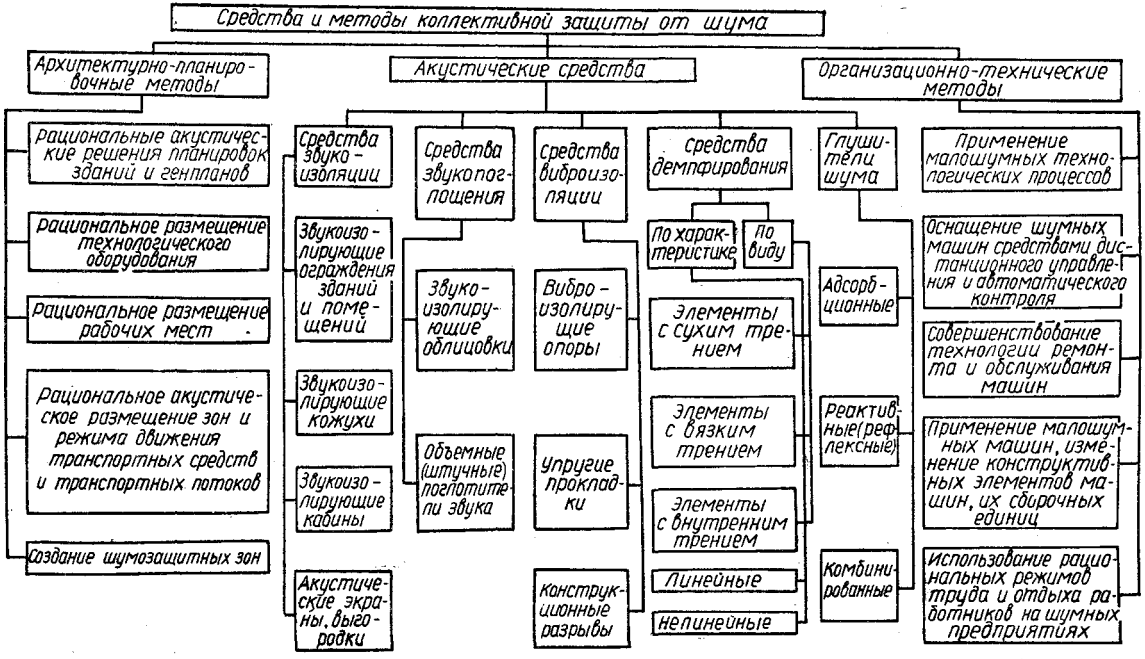


Рис. 12. Классификация методов и средств коллективной защиты от шума

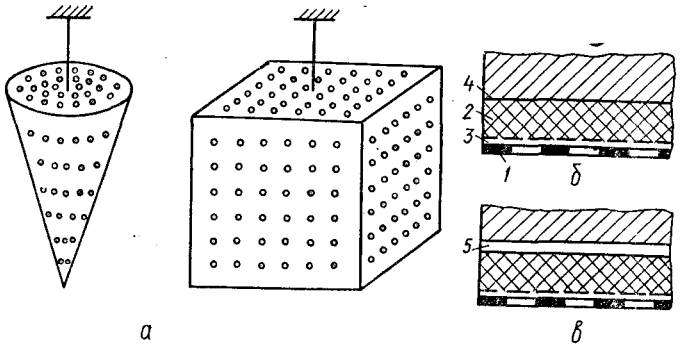


Рис. 13. Акустическая обработка помещений:

а — штучные звукопоглотители с двойными стенками; *б* — конструкция звукопоглощающей облицовки без воздушного промежутка; *в* — то же, с воздушным промежутком; *1* — перфорированный лист; *2* — слой звукопоглощающего материала; *3* — защитная стеклоткань (для укрепления слоя *2*); *4* — стена или потолок; *5* — воздушный промежуток между слоем и ограждением (или плита из звукопоглощающего материала)

рациональная планировка предприятий и цехов (соблюдение разрывов не менее 100 м от здания с шумной технологией и др.);

изменение направления излучения шума в противоположную сторону от рабочего места или жилого дома);

акустическая обработка помещений (рис. 13) — уменьшение энергии отраженных волн увеличением эквивалентной площади звукопоглощения (размещение на внутренних поверхностях помещения звукопоглощающих облицовок, установка в помещении штучных звукопоглощателей);

уменьшение шума на пути его распространения путем установки звукоизолирующего ограждения (преграды) в виде стен, перегородок, кожухов, кабин (ограждения могут быть однослойные и многослойные);

применение глушителей шума для уменьшения шума различных аэродинамических установок.

Часто неэкономично, а иногда практически невозможно уменьшить шум до допустимых величин на некоторых производствах (клепка, обрубка, штамповка, зачистка, испытание двигателей внутреннего сгорания и др.). В этих случаях средства индивидуальной защиты являются основными мерами, предотвращающими профессиональные заболевания работающих.

К средствам индивидуальной защиты (противошумам) относят вкладыши, наушники и шлемы.

5.6. Защита от инфра- и ультразвука

Основными источниками инфразвука являются двигатели внутреннего сгорания, вентиляторы, поршневые компрессоры и другие тихоходные машины, работающие с числом рабочих циклов менее 20 в секунду. При действии инфразвука с уровнями 100—120 дБ возникают головные боли, снижение работоспособности, появление чувства страха, нарушение функции вестибулярного аппарата, а при частоте 5—10 Гц — чувство вибрации внутренних органов. Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 2, 4, 8 и 16 Гц должны быть не более 105 дБ, а в полосе с частотой 32 Гц — не более 102 дБ.

В результате длительных воздействий инфразвуковых колебаний у человека появляются слабость, утомляемость, раздражительность, нарушается сон. Инфразвук с частотой 8 Гц наиболее опасен для человека в связи с тем, что эта частота совпадает с альфа-ритмом биотоков мозга.

Снижение интенсивности инфразвука достигается за счет уменьшения его источника, изоляции, поглощения, применения индивидуальных средств защиты.

К основным мероприятиям по борьбе с инфразвуком можно также отнести повышение быстроходности машин, что обеспечивает перевод максимума излучения в область слышимых частот; повышение жесткости конструкций больших размеров; устранение низкочастотных вибраций; установка глушителей реактивного типа (отражающих энергию обратно к источнику).

Ультразвук находит широкое применение (пайка, сварка, обработка сверххрупких и сверхтвердых материалов, дефектоскопия, медицина, очистка загрязненного воздуха и др.). Генераторами ультразвука являются ультразвуковое технологическое оборудование и приборы. Во время их работы при частоте 20—70 кГц создается неслышимый ухом шум в 100—120 дБ. При соприкосновении с предметами и веществами, в которых возбуждены ультразвуковые колебания, происходит опасное контактное облучение. При работе на таких ультразвуковых установках необходимо пользоваться специальными защитными средствами — резиновыми перчатками с хлопчатобумажной подкладкой.

В приборостроении ультразвук используется для интенсификации технологических процессов при очистке и обезжиривании деталей, ультразвуковой дефектоскопии и т. п. Для возбуждения ультразвуковых колебаний (УЗК) в среде применяют различные методы преобразования электрической энергии в ультразвуковую: магнитострикционный для получения УЗК частотой до 20 МГц, мощностью до 60 кВт и пьезоэлектрический — для получения УЗК частотой более 1 МГц, небольшой мощности (редко свыше 1 кВт). Частота применяемого ультразвука свыше 20 кГц, мощность — до нескольких киловатт.

Ультразвук оказывает вредное воздействие на организм человека, а именно: происходят различные нарушения нервной системы, изменяются давление, состав и свойства крови, теряется слуховая чувствительность. Ультразвук может действовать на человека как через воздушную среду, так и через жидкую и твердую (контактное действие на руки). В соответствии с ГОСТ 12.1.001—83 уровни звуковых давлений в диапазоне частот 11—20 кГц не должны превышать соответственно 75—110 дБ, а общий уровень звукового давления в диапазоне частот 20—100 кГц не должен быть выше 110 дБ.

Защита от действия ультразвука через воздух может быть обеспечена следующими мероприятиями:

использованием в оборудовании более высоких рабочих частот, для которых допустимые уровни звукового давления выше;

применением кожухов из листовой стали или дюралюминия (толщиной 1 мм) и гетинакса (5 мм) с обклейкой резиной или рубероидом;

устройством экранов (прозрачных) между оборудованием и работающим;

размещением ультразвуковых установок в специальных помещениях или кабинах.

Защита от действия ультразвука при контактном облучении состоит в полном исключении непосредственного соприкосновения работающих с инструментом, жидкостью и изделиями, поскольку такое воздействие наиболее вредно.

Для снижения уровня звукового давления УЗК применяют звукопоглощение и звукоизоляцию. Хорошие звукоизолирующие свойства имеют металлические кожухи из листовой стали толщиной 1,5—2 мм, покрытые ре-

зиной толщиной до 1 мм. Применяют пористую резину, поролон, органическое стекло.

Непосредственный контакт рабочих с источниками УЗК можно устранить механизацией и автоматизацией процессов при пайке, очистке и обезжиривании деталей, применением средств индивидуальной защиты в виде двойных перчаток (хлопчатобумажных и резиновых) и др.

При определении ультразвуковой характеристики измерения выполняют в контрольных точках на высоте 1,5 м от пола, на расстоянии 0,5 м от контура оборудования и не менее 2 м от отражающих поверхностей (ГОСТ 12.1.001—83).

Учебно-поисковая задача

Звуки шума и «тишины» (проблемные вопросы).

Проблема борьбы с шумом стала одной из самых актуальных. Сильный шум, наносящий вред здоровью людей, ныне справедливо называют невидимым ядом. Когда-то шум наносил вред здоровью людей лишь отдельных специальностей, теперь же жертвами действия шума становятся почти все жители города. Речь идет, конечно, не о том, чтобы всюду стояла абсолютная тишина (да она и не достижима в условиях современного города или производства). Более того, человек не может жить в абсолютной тишине и никогда не стремится к ней. Имеются попытки установления акустических пределов, благодаря которым понятие тишины обретает количественное выражение. Так, например, тишина в квартире, по мнению медиков,— это 40 дБ днем и 30 дБ ночью (для сравнения: 25 дБ дает шелест листвы при умеренном ветре, 30 дБ — тикание часов на расстоянии 1 м, 75—80 дБ — шум на улице небольшого города). Ведется работа над стандартом, который установит предельно допустимый уровень (ПДУ) шума в районе жилищных застроек, местах отдыха, детских площадок. Согласно стандарту ПДУ шума на рабочих местах не должен превышать 85 дБ. Конечно, это далеко не идеальные условия, но снижение производственного шума до этого уровня на всех без исключения предприятиях привело бы к значительному оздоровлению условий труда. Настало время вести борьбу за чистоту акустического пространства, за «акустическую экологию», и нерешенных проблем здесь еще много. И очень важно изменить традиционное отношение к проектированию машин. Здесь необходимо ввести критерий акустического проектирования, обеспечивающий минимальный уровень шума, утвердить новые нормы, определяющие показатель шумности новой техники наряду с КПД, металлоемкостью, экономичностью, надежностью. Здесь еще предстоят серьезные научные исследования.

Серьезные проблемы связаны также со звуками «тишины» — инфразвуками. Эта область звуковых частот (16—20 Гц и ниже) лежит вне восприятия человеческим ухом. Инфразвуки характеризуются высокой проникающей способностью, распространя-

ются на большие расстояния и почти при этом не ослабляются. Инфразвуковые волны возникают в самых различных условиях: при обдувании ветром зданий, деревьев, столбов, металлических ферм, при движении человека и животных, при работе тихоходных машин. Иными словами, мы живем в мире инфразвуков, не подозревая об этом. Зарегистрировать их могут лишь специальные приборы. Научные исследования показали, что инфразвук наиболее ощутим в тоннелях, где движутся поезда и автомобили, а также под мостами и эстакадами. Инфразвуки легко «маскируются» слышимыми звуками — шумом. Чем более шумно вокруг нас, тем меньше «слышен» инфразвук. Сейчас ведутся исследования для установления нормативов инфразвукового излучения, отступление от которых влечет за собой неблагоприятные воздействия на организм человека.

Не менее опасны неслышимые звуки другого вида — ультразвуки, которые по своей физической природе ничем не отличаются от слышимых звуков. Известно, что упругие колебания могут распространяться в материальной среде при условии, что длина волны должна быть больше длины свободного пробега частиц этой среды (молекул) или больше межатомных расстояний. Длина же волны находится в обратной зависимости от частоты колебаний. Вот почему ультразвуковые колебания затухают в газах больше, чем в жидкости, и еще больше, чем в твердом теле. Область применения ультразвука широчайшая: ультразвуковые преобразователи (пьезоэлектрические и магнитострикционные), ультразвуковое резание, сварка, пайка и лужение, обработка металлов, ультразвуковая очистка, ультразвуковые дефектоскопы, ультразвуковой экспресс-анализ, ультразвуковая диагностика заболеваний и др. В то же время опасность воздействия ультразвука на организм человека требует дальнейших исследований.

Пример 3. Определить эффективность применения акустической обработки помещения цеха точечной сварки арматурных каркасов. Размеры цеха $72 \times 12 \times 4{,}5$ м, объем цеха $V \approx \approx 3880$ м^3, площади ограждающих поверхностей потолка $S_{пот} = = 864$ м^2, пола $S_{пол} = 864$ м^2, стен $S_с \approx 420$ м^2, общая площадь 2148 м^2. В цехе установлено 18 многоточечных сварочных автоматов для сборки арматуры сеток. Расчетная точка удалена от ближайшего станка на $r = 2$ м.

Р е ш е н и е. 1. Определим предельный радиус

$$r_{пр} = 0{,}2 \sqrt{\frac{B8000}{n}} = 0{,}2 \sqrt{1164/18} = 16 \text{ м},$$

где $n = 18$ — число источников шума; B_{8000} — постоянная помещения на частоте 8000 Гц:

$$B_{8000} = B_{1000}\mu_{8000},$$

Постоянная помещения B_{1000} на среднегеометрической (эталонной) частоте 1000 Гц имеет следующие значения:

Помещения	B_{1000}, м^2
С небольшим количеством людей (цехов заводов и др.)	$V/20$
С жесткой мебелью и большим числом людей или с небольшим числом людей и мягкой мебелью	$V/10$

(лаборатории, кабинеты, ткацкие и деревообрабатывающие цеха)	
С большим числом людей и мягкой мебелью (залы КБ, учебные аудитории, залы ресторанов, магазинов, вокзалов, жилых помещений и др.)	$V/6$
Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	$V/1,5$

В нашем случае $B_{1000} = V/20$.

Частотный множитель μ принимается в зависимости от объема помещения V, м³, по табл. 2; $\mu = 6$.

Таблица 2. **Частотный множитель μ**

Объем помещения, м³	Значения μ на частотах октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<200	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
200—1000	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
>1000	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3,0	6

Тогда

$$B_{8000} = 6V/20 = \frac{6 \cdot 3880}{20} = 1164 \text{ м}^2.$$

Следовательно, расчетная точка находится в зоне отраженного звука.

2. По результатам натурных измерений по таблице ГОСТ определяются уровни звукового давления в расчетной точке (на рабочем месте оператора сварочного автомата) и требуемое снижение уровня шума ΔL (дБ): на частотах 250 Гц — 2, 500—5, 1000 — 7; 2000 — 4, 4000 — 2, 8000 — 1 дБ.

3. Для акустической обработки цеха выбираем плиты марки ПА/С (минераловатные) размером 500 × 500 мм с высоким коэффициентом звукопоглощения $\alpha_{обл}$ на частотах 1000 — 8000 Гц (0,02; 0,05; 0,21; 0,66; 0,91; 0,95; 0,89; 0,7).

4. Определяем максимально возможное снижение уровня шума, дБ,

$$\Delta L = 10 \lg B_1/B,$$

где $B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{(1 - \alpha_1)}$; $A_1 = \alpha (S - S_{обл})$; $\Delta A = \alpha_{обл} S_{обл}$ ($S_{обл} = 864$ м²); $\alpha = \frac{B}{B + S}$; $\alpha_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S}$.

Получим такие значения ΔL для среднегеометрических частот октавной полосы: 63 — 0; 125 — 0,2; 250 — 3,8; 500 — 8,3; 1000 — 8,2; 2000 — 6,8; 4000 — 5,3; 8000 Гц — 2,4 дБ.

Как видно из приведенного расчета, использование для акустической обработки цеха звукопоглощающих плит марки ПА/С обеспечивает снижение уровней отраженного звука в рас-

четной точке от 2 до 8 дБ на частотах 250...8000 Гц, а уровни звукового давления на рабочих местах не превышают допустимых величин, определенных по ГОСТ (п 2).

Глава 6
ЗАЩИТА ОТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВИБРАЦИЙ

6.1. Физические характеристики вибраций

В промышленности и на транспорте широкое применение получили машины и оборудование, создающие вибрацию, воздействующую неблагоприятно на человека. Это прежде всего все транспортные средства, ручные машины (электрические и пневматические, особенно с возвратно-ударной отдачей), машины в строительстве и на заводах стройиндустрии (виброплощадки, бункера с электровибраторами, бетоноукладчики, бетоносмесители, дозаторы и др.). Для современного машиностроения характерно увеличение скорости рабочих органов и агрегатов различного рода оборудования, станков и ручных машин. Уравновешивание при этом вращающихся и поступательных масс становится затруднительным. В результате возникают колебания, в ряде случаев им сопутствуют вредные производственные факторы, создающие неблагоприятные условия труда, например вибрация, сопровождающая работу технического оборудования, механизированного инструмента и средств транспорта. Вредные последствия вибрации возрастают с увеличением быстроходности машин и механизмов, поскольку энергия колебательного процесса возрастает пропорционально квадрату частоты колебаний (или частоты вращения вала машины).

С физической точки зрения между шумом и вибрацией принципиальной разницы нет. Разница имеет место лишь в восприятии: вибрация воспринимается вестибулярным аппаратом и органами осязания, а шум — органом слуха.

Вибрация представляет собой процесс распространения механических колебаний в твердом теле. Колебания механических тел с частотой ниже 20 Гц воспринимаются организмом как вибрация, а колебания с частотой выше 20 Гц — одновременно и как вибрация, и как звук. Следовательно, вибрация — это механические колебания материальных точек или тел. В производственных усло-

виях наблюдаются вибрации с частотой 35—250 Гц (ручной инструмент). Источниками вибраций являются различные технологические процессы, механизмы, машины и их рабочие органы. Колебания, распространяясь по элементам конструкций, ускоряют их разрушение, а также оказывают вредное воздействие на работающего.

Физически вибрации характеризуются частотой колебаний f, Гц, амплитудой смещения A, мм, колебательной скоростью v, м/с, колебательным ускорением w, м/с^2.

Основная частота гармонического колебательного движения f, Гц,

$$f = n/60, \tag{38}$$

где n — число оборотов в минуту.

Виброскорость v, м/с, и виброускорение w, м/с^2, в случае гармонических колебаний определяют из выражений

$$v = 2\pi f A = \omega A; \tag{39}$$

$$w = 4\pi^2 f^2 A = \omega^2 A, \tag{40}$$

где ω — угловая частота.

Вибрацию (как и шум) можно характеризовать не только абсолютными величинами, но и относительными. В практике виброакустических исследований используют понятие *логарифмического уровня колебаний* — характеристики колебаний, сравнивающей две одноименные физические величины, пропорциональные десятичному логарифму отношения оцениваемой и исходного значения этой величины. В качестве последнего в охране труда используются опорные значения параметров, принятые за начало отсчета. При этом вибрация оценивается величиной, выраженной в децибелах. Так, значение уровня виброскорости Lv, дБ, согласно ГОСТ 12.1.012—78, определяют по формуле

$$Lv = 10 \lg \frac{v^2}{v_0^2} = 20 \lg \left(\frac{v}{v_0}\right), \tag{41}$$

где v^2 — средний квадрат (среднегеометрическое значение) виброскорости (берется в соответствующей полосе частот); $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с — пороговое значение виброскорости (опорная виброскорость), принятое по международному стандарту.

Среднегеометрические значения октавных полос частот вибраций стандартизованы и составляют 1; 2; 4; 16; 31,5; 63; 125; 250; 500 и 1000 Гц.

Спектры уровней виброскорости — основные характеристики вибраций. Снижение уровня вибраций определяют разностью

$$\Delta Lv = Lv_1 - Lv_2, \qquad (42)$$

где Lv_1 и Lv_2 — соответственно уровни вибраций до и после проведения мероприятий по их уменьшению.

6.2. Характеристики источников вибраций

Так как вибрация — это механические колебания упругих тел (или колебательные движения механических систем), то каждому упругому телу или конструкции, выведенным из положения равновесия, свойственны определенный период и частота колебаний. Такого рода колебания называются *собственными*, они постепенно затухают, поскольку энергия движения вследствие трения переходит в тепловую энергию. При действии на тело или конструкцию периодически изменяющейся силы начинаются колебания, называемые *вынужденными*. Вызывающая их сила называется *возмущающей*. При совпадении частоты возмущающей силы с частотой собственных колебаний амплитуда колебаний конструкции или сооружения начинает возрастать, так как энергия колебаний увеличивается под действием возмущающей силы, направление которой совпадает в течение каждого периода с направлением движения. Такое возрастание амплитуды колебаний, называемое *резонансом*, не только создает вибрацию, но и является весьма опасным для конструкции или сооружения. Опасность заключается в том, что с возрастанием амплитуды возрастают деформация и напряжение в машине, оборудовании, сооружении, что может привести к их поломке или разрушению, а также к несчастным случаям.

Источниками вибрации могут быть возвратно-поступательные движущиеся системы, неуравновешенные вращающиеся массы, удары деталей узлов механизмов и др. Дисбаланс во всех случаях приводит к появлению неуравновешенных сил, вызывающих вибрацию. Возникновение колебаний может быть связано не только с силовым, но и с кинематическим возбуждением, например в транспортных средствах при их движении по неровному пути.

Поскольку вибрация характеризуется тремя параметрами (амплитудой перемещения, колебательными скоростью и ускорением), то зависимость этих параметров от времени можно охарактеризовать так: $A = \varphi(t)$, $v = \varphi(t)$ и $w = \varphi(t)$. В практических целях обычно используют два параметра: амплитуду перемещения A, мм, и колебательную скорость v, м/с.

6.3. Действие вибрации на организм человека

По характеру действия на организм человека вибрацию принято подразделять на общую и местную. *Общая вибрация* передается на все тело человека, а *местная* — на руки работающего. Возможно комбинированное действие общей и местной вибрации. Вибрации производственных агрегатов вызывают колебания воздуха, передаются конструкциям зданий и фундаменту, а через него — почве, в результате чего колебания могут возникать на рабочих местах даже в далеко отстоящих сооружениях.

Вибрация приводит тело или его отдельные части в колебательное движение. Различают поперечные, продольные или крутильные колебания.

Весь организм резонирует при действии колебаний с частотой 8 Гц, колебания с частотой от 17 до 25 Гц резонансны для головы человека (для внутренних органов собственные частоты в диапазоне 6—9 Гц). Колебания рабочих мест с указанными частотами весьма опасны, так как могут вызвать механические повреждения и даже разрыв органов. Общей вибрации подвергаются транспортные рабочие, операторы грузоподъемных кранов. Локальной (местной) вибрации подвергаются работающие с ручным электро- и пневмоинструментом. В ряде случаев работающий может подвергаться одновременно воздействию общей и местной (комбинированной) вибрации.

Систематическое воздействие общих вибраций при высоком уровне виброскорости может быть причиной вибрационной болезни (неврита) — стойких нарушений физиологических функций организма (в первую очередь центральной нервной системы). Эти нарушения проявляются в виде нарушения сердечной деятельности, головокружений и головных болей, плохого сна и самочувствия, пониженной работоспособности. Виброболезнь относится к группе профзаболеваний, эффективное лечение которой возможно лишь на ранней стадии, в противном

случае — необратимые изменения, приводящие к инвалидности.

Локальная вибрация вызывает спазмы сосудов рук, предплечья, сердца. Наиболее вредным для человека является одновременное действие вибраций, шума и низкой температуры.

6.4. Гигиенические характеристики и нормы вибрации

Различают гигиеническое и техническое нормирование вибраций. В первом случае ограничивают параметры вибрации рабочих мест и поверхности контакта с руками работающих, исходя из физиологических заболеваний, исключающих возможность возникновения виброболезни. Во втором случае ограничивают параметры вибрации с учетом не только указанных требований, но и технически достижимого на сегодняшний день для данного вида машин минимального уровня вибрации.

Общая вибрация нормируется с учетом свойств источника ее возникновения и делится на вибрацию:

транспортную, которая возникает в результате движения машин по местности и дорогам;

транспортно-технологическую, которая образуется при работе машин, выполняющих технологическую операцию в стационарном положении;

технологическую, возникающую при работе стационарных машин или передается на рабочие места, не имеющие источников вибраций.

Степень вредного воздействия колебаний на организм человека зависит от различных параметров, в том числе от направления действия вибрации. Вибрация может возникать в кабинах управления кранами, при эксплуатации самоходных машин, других механизмов и устройств, когда причиной возбуждения вибраций являются возникающие неуравновешенные силовые воздействия.

Нормируемыми параметрами общей вибрации являются среднеквадратичные значения колебательной скорости в октавных полосах частот или амплитуды перемещений, возбуждаемые работой оборудования и передаваемые на рабочие места в производственных помещениях (пол, рабочие площадки, сиденья).

Вибрация, воздействующая на человека, нормируется отдельно в каждой стандартной октавной полосе, различно для общей и локальной вибраций.

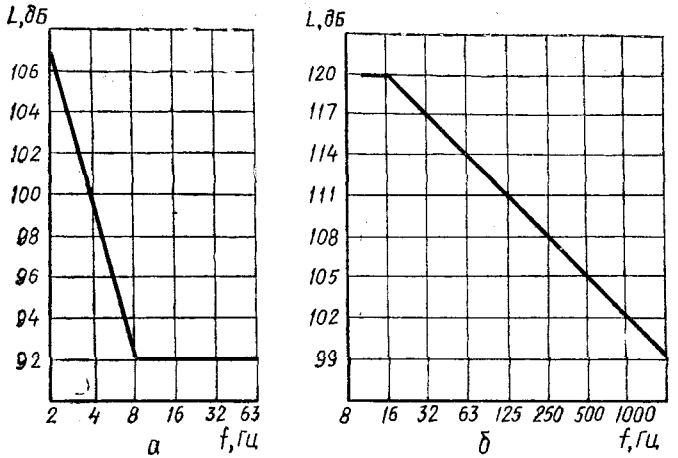


Рис. 14. К нормированию вибраций:
а — общие вибрации; *б* — местные (локальные) вибрации

Нормы по ограничению общих вибраций (рабочих мест) устанавливают логарифмический уровень колебательной скорости в октавных диапазонах со среднегеометрическими значениями 2, 4, 8, 16, 32, 63 Гц, а нормы по ограничению локальной вибрации — в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц. Нормирование транспортных вибраций производится с октавной полосы со среднегеометрическим значением 1 Гц.

Допустимые уровни общих вибраций рабочих мест установлены санитарными нормами, где нормируемыми параметрами вибрации являются среднеквадратичные значения скорости колебания или амплитуды перемещений вибрации в октавных полосах частот от 2 до 63 Гц (рис. 14, *а*). Согласно санитарным нормам, допустимые величины вибрации инструментов и производственного оборудования, передаваемые на руки работающих, установлены в диапазоне частот 11—2800 Гц для каждой октавной полосы. При этом нормируются виброскорости, м/с, и уровни вибрации, дБ, относительно порогового значения виброскорости $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с (рис. 14, *б*).

Гигиенические нормы вибрации установлены для длительности рабочей смены 8 ч. Гигиеническую оценку вибрации производят одним из трех методов: частотным

(спектральным) анализом; интегральной оценкой по частоте и дозой вибрации.

При частотном (спектральном) анализе нормируемыми параметрами являются среднеквадратичные значения виброскорости v (и их логарифмические уровни Lv) или виброускорения w для локальной вибрации в октавных полосах частот, а для общей вибрации — в октавных или 1/3 октавных полосах частот. Логарифмические уровни виброскорости Lv, дБ, составляют $Lv = 20 \lg \left(\frac{v}{5 \cdot 10^{-8}}\right)$.

Для ручных машин предельно допустимые уровни вибрации установлены государственным стандартом.

Для измерения вибраций применяют приборы, основанные на механических и электрических методах измерения. Измерение вибрации производится виброметрами, приборами ИШВ-1 (регистрируют амплитуды вибраций от 0,005 до 1,5 мм в диапазоне частот от 15 до 200 Гц). Применяются также измерительные приборы типов НВА-1, ШВК-1, ВИП-2 и др.

6.5. Методы снижения вибраций машин и оборудования

Ослабления вибраций достигают следующими конструктивными и технологическими мерами:

уравновешиванием, балансировкой вращающихся частей для обеспечения плавности работы машины;

устранением дефектов и разболтанности отдельных частей;

использованием динамических гасителей вибраций;

упругой подвеской агрегатов и амортизацией (включением промежуточных устройств между машиной и основанием). Амортизаторы выполняют в виде стальных пружин, рессор, прокладок из резины и т. п. При выборе прокладки необходимо учесть, что собственная частота системы f должна быть в 2—3 раза меньше возбуждающей частоты. Толщину h и площадь F прокладок можно определить расчетом либо по графику (рис. 15). Зная массу сооружения, определяют необходимую общую площадь прокладок (площадь одной прокладки рассчитывают делением общей площади на число опор агрегата).

Работа с ручным инструментом ударного действия (пневмомолотками, трамбовками и др.) и возвратно-поступательного действия (бурильными и отбойными мо-

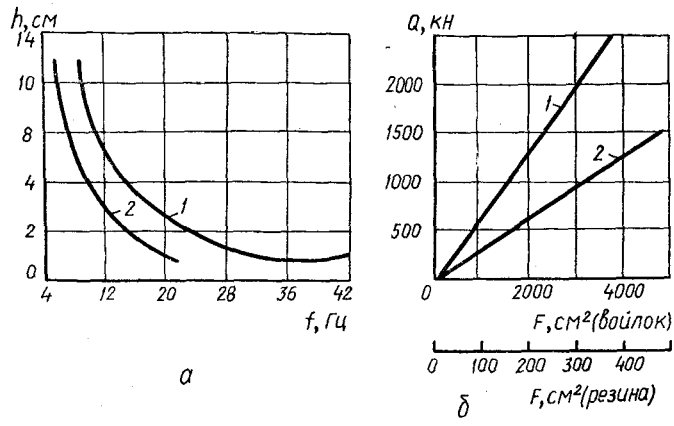


Рис. 15. К выбору виброизолирующей прокладки:
а — зависимость толщины прокладки от собственной частоты системы; *б* — зависимость площади прокладки от нагрузки: *1* — войлок; *2* — резина

лотками и т. п.) сопровождается вибрацией. Отрицательное воздействие вибраций усиливается наличием шума и охлаждением рук струей холодного воздуха, вырывающегося из инструмента.

Основные меры по снижению и полному устранению действия вибраций на работающих — внедрение автоматизированных и высокомеханизированных производств, дистанционного управления цехами и участками.

Основные меры борьбы с вибрацией:

совершенствование конструкций машин и технологических процессов (замена кулачковых и кривошипных механизмов равномерно вращающимися, гидроприводами и др.);

отстройка от режима резонанса (изменением массы или жесткости системы и т. п.);

вибродемпфирование (вибропоглощение) — использование конструкционных материалов с большим внутренним трением; нанесение на вибрирующие поверхности слоя упруговязких материалов, обладающих большими потерями на внутреннее трение (пластмассы, дерево, резина). Эффективно применение покрытий из слоя вязкоупругого материала — пластмассы, рубероида, битума, резины;

виброизоляция при помощи устройства амортизаторов, то есть введение в колебательную систему дополнительной упругой связи. Эффективность виброизоляции

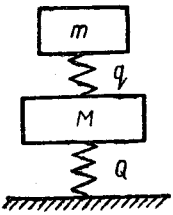


Рис. 16 Схема динамического виброгасителя

определяют коэффициентом передачи, который может быть рассчитан по формуле

$$КП = \frac{1}{(f/f_0)^2} - 1, \qquad (43)$$

где f и f_0 — соответственно частота вынужденных и собственных колебаний системы ($f/f_0 = 3 .. 4$, что соответствует оптимуму $КП = \frac{1}{8} ... \frac{1}{15}$; чем меньше значение КП, тем выше виброизоляция).

Обычно эффективность виброизоляции ΔL, дБ, определяют из выражения

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{КП}; \qquad (44)$$

динамическое гашение вибрации (рис. 16) — увеличение реактивного сопротивления колебательных систем путем установки динамического виброгасителя (дополнительной колебательной системы с массой m и жесткостью q), собственная частота которого f_0 настроена на основную частоту f колебаний данной машины с массой M и жесткостью Q. В этом случае подбором массы и жесткости виброгасителя обеспечивается выполнение условия

$$f_0 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)\sqrt{q/m} = f;$$

изменение конструктивных элементов машин и строительных конструкций за счет увеличения жесткости системы (введение ребер жесткости);

активная виброзащита — введение дополнительного источника энергии, осуществляющего обратную связь от изолируемого объекта к системе виброизоляции.

При работе с ручным инструментом (электрическим, пневматическим) применяют средства индивидуальной защиты рук от воздействия вибраций (рукавицы, перчатки). Учитывая неблагоприятное воздействие холода на развитие виброболезни, при работе в зимнее время рабочих надо обеспечивать теплыми рукавицами. Применяют также антивибрационные поясы, подушки, прокладки, виброгасящие коврики, виброгасящую обувь.

В целях профилактики виброболезни для работающих с вибрирующим оборудованием рекомендуется

специальный режим труда. Так, суммарное время в контакте с вибрацией не должно превышать 2/3 рабочей смены. При таком режиме труда рекомендуется устанавливать обеденный перерыв не менее 40 мин и два регламентированных перерыва (20 мин через 1—2 ч после начала смены и 30 мин через 2 ч после обеденного перерыва). При работе с вибрирующим оборудованием рекомендуется включать в рабочий цикл технологические операции, не связанные с воздействием вибрации. Рабочие, у которых обнаружена виброболезнь, временно, до решения ВТЭК, должны быть переведены на работу, не связанную с вибрацией, значительным мышечным напряжением и охлаждением рук. Руки следует беречь от холода. Полезны теплые ванночки для рук. Рекомендуется устройство помещений для гидропроцедур.

Учебно-поисковая задача

Основные источники вибраций на предприятиях данной отрасли (по специальности) с указанием порога восприятия вибрации и нормируемых параметров.

С физической точки зрения вибрации (как и шум) представляют собой сложные колебательные процессы. Поэтому гигиеническая оценка вибраций достаточно сложная задача. Для характеристики вибрации введены среднеквадратичные значения виброскорости в октавных полосах частот или их логарифмические уровни, взятые относительно опорной виброскорости, которая принята (условно) по международному стандарту $v_0 = 5 \times 10^{-8}$ м/с. В отличие от шума, где за нуль децибел принят порог слышимости, для вибрации отсчет децибел ведется от условной опорной виброскорости, при этом порог восприятия вибрации составляет около 70 дБ.

В этом объяснении заключается стержень ответа на поставленную задачу по данной проблеме.

Пример 4. Рассчитать виброгасящее основание под виброплощадку габаритом 6269 × 1780 × 1020 мм и максимальной грузоподъемностью 5 т, общим весом 74200 Н, в том числе подвижных частей $Q_{п.ч} = 62780$ Н. Мощность привода 28 кВт, частота вращения 3000 мин$^{-1}$, максимальный кинетический момент дебалансов $M_к = 2900$ Н · см, амплитуда виброперемещения стола 0,4 мм, частота вибрирования $f = 50$ Гц. Фундамент устанавливают на суглинок средней пористости с допускаемым нормативным давлением $R = 3 \cdot 10^5$ Па. Виброплощадка двухвальная, нормативная возмущающая сила действует в вертикальном направлении. Виброизоляция выполнена в виде 8 цилиндрических стальных пружин.

Р е ш е н и е. 1. Определяем динамическую нагрузку N, возбуждаемую дебалансными валами виброплощадки

$$N = M_к \omega^2 / g,$$

где $M_к = mr$ — кинетический момент одного вибратора, Н · см (m — масса вращающейся части машины, то есть дебаланса, кг; r — эксцентриситет вращающихся масс, см); $\omega = 2\pi f = 314$ — круговая частота вала машины, $с^{-1}$; $g = 980$ — ускорение свободного падения, $см/с^2$;

$$N = 2900 \cdot 314^2/980 = 291760 \text{ Н}.$$

2. Определяем суммарную жесткость всех амортизаторов по формуле

$$g = Q_{п.ч}/\lambda_{ст}.$$

При этом предполагаем, что виброплощадка опирается на фундамент через стальные пружинные амортизаторы, дающие под действием подвижных подрессоренных частей установки статическую осадку $\lambda_{ст} = 0{,}5$ см.

Тогда

$$g = 62780/0{,}5 = 125560 \text{ Н/см}.$$

3. Рассчитываем собственную круговую частоту вертикальных колебаний подрессоренных частей виброплощадки ω_0 и массу подвижных частей виброплощадки $m_{п.ч}$:

$$m_{п.ч} = Q_{п.ч}/g = 62780/980 = 64 \text{ Н} \cdot с^2/см;$$

$$\omega_0 = \sqrt{g/m_{п.ч}} = \sqrt{125560/64} = 44{,}2 \text{ } с^{-1}.$$

4. Определяем нормальную динамическую нагрузку, передающуюся на фундамент,

$$N_ф = \frac{N}{(\omega/\omega_0)^2 - 1} = \frac{291760}{(314/44{,}2)^2 - 1} = 5906 \text{ Н}.$$

Исходя из опыта проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками, конструктивно принимаем площадь $F_ф$ и высоту фундамента так, чтобы вес фундамента примерно в два раза был больше общего веса виброплощадки, то есть

$$Q_ф = 140000 \text{ Н}; \; F_ф = 640 \cdot 180 = 115200 \text{ см}^2.$$

Масса фундамента

$$m_ф = Q_ф/g = 140000/980 = 142 \text{ Н} \cdot с^2/см = 142 \text{ кг}.$$

5. Рассчитываем коэффициент жесткости естественного основания при выбранном грунте (суглинок), $R = 3 \cdot 10^5$ Па, $C_z = 50$ $Н/см^3$ (коэффициент упругого равномерного сжатия):

$$K_z = F_ф C_z = 115200 \cdot 50 = 5760000 \text{ Н/см}^2.$$

6. Определяем круговую частоту собственных вертикальных колебаний фундамента

$$\omega_ф = \sqrt{K_z/m_ф} = \sqrt{5760000/142} = 201 \text{ } с^{-1}.$$

7. Рассчитываем амплитуду перемещения фундамента под действием динамической силы

$$a_{\text{ф}} = \frac{N_{\text{ф}}}{K_z\,(\omega^2/\omega_{\text{ф}}^2 - 1)} = \frac{5906}{5760000\,(314^2/201^2 - 1)} = 0{,}007 \text{ мм}.$$

Согласно ГОСТ 12.1.012—82, $a_{\text{доп}} = 0{,}009$ мм, то есть условие выполняется.

Глава 7

ЗАЩИТА ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

7.1. Источники электромагнитных полей радиочастот и их характеристика

Источниками электромагнитных полей (ЭМП) являются: атмосферное электричество, радиоизлучения, электрические и магнитные поля Земли, искусственные источники (установки ТВЧ, радиовещание и телевидение, радиолокация, радионавигация и др.). Источниками излучения электромагнитной энергии являются мощные телевизионные и радиовещательные станции, промышленные установки высокочастотного нагрева, а также многие измерительные, лабораторные приборы. Источниками излучения могут быть любые элементы, включенные в высокочастотную цепь.

Токи высокой частоты применяют для плавления металлов, термической обработки металлов, диэлектриков и полупроводников и для многих других целей. Для научных исследований в медицине применяют токи ультравысокой частоты, в радиотехнике — токи ультравысокой и сверхвысокой частоты. Возникающие при использовании токов высокой частоты электромагнитные поля представляют определенную профессиональную вредность, поэтому необходимо принимать меры защиты от их воздействия на организм.

Токи высокой частоты создают в воздухе излучения, имеющие ту же электромагнитную природу, что и инфракрасное, видимое, рентгеновское и гамма-излучение. Различие между этими видами энергии — в длине волны и частоте колебаний, а значит, и в величине энергии кванта, составляющего электромагнитное поле. Электромагнитные волны, возникающие при колебании электрических

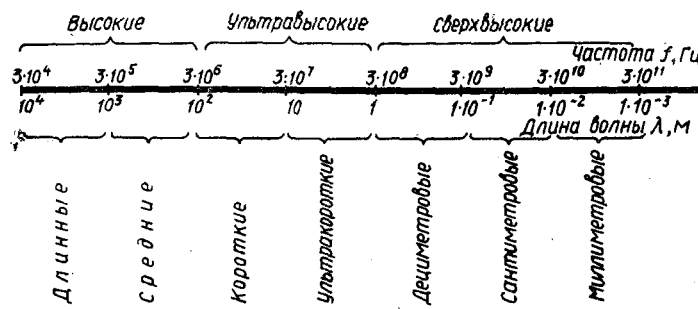


Рис. 17. Спектр электромагнитных колебаний

зарядов (при прохождении переменных токов), называются *радиоволнами.*

Электромагнитное поле характеризуется длиной волны λ, м, или частотой колебания f, Гц:

$$\lambda = cT = c/f, \text{ или } c = \lambda f, \qquad (45)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость распространения радиоволн, равная скорости света; f — частота колебаний, Гц; $T = 1/f$ — период колебаний.

Интервал длин радиоволн — от миллиметров до десятков километров, что соответствует частотам колебаний в диапазоне от $3 \cdot 10^4$ Гц до $3 \cdot 10^{11}$ Гц (рис. 17).

Интенсивность электромагнитного поля в какой-либо точке пространства зависит от мощности генаратора и расстояния от него. На характер распределения поля в помещении влияет наличие металлических предметов и конструкций, которые являются проводниками, а также диэлектриков, находящихся в ЭМП.

7.2. Источники электромагнитных полей промышленной частоты в электроустановках сверхвысокого напряжения (СВН)

При эксплуатации электроэнергетических установок — открытых распределительных устройств (ОРУ) и воздушных ЛЭП напряжением выше 330 кВ — в пространстве вокруг токоведущих частей действующих электроустановок возникает сильное электромагнитное поле, влияющее на здоровье людей. В электроустановках напряжением ниже 330 кВ возникают менее интенсив-

ные электромагнитные поля, не оказывающие отрицательного влияния на биологические объекты.

Эффект воздействия электромагнитного поля на биологический объект принято оценивать количеством электромагнитной энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле. При малых частотах (в данном случае 50 Гц) электромагнитное поле можно рассматривать состоящим из двух полей (электрического и магнитного), практически не связанных между собой. Электрическое поле возникает при наличии напряжения на токоведущих частях электроустановок, а магнитное — при прохождении тока по этим частям. Поэтому допустимо рассматривать отдельно друг от друга влияние, оказываемое ими на биологические объекты.

Установлено, что в любой точке поля в электроустановках сверхвысокого напряжения (50 Гц) поглощенная телом человека энергия магнитного поля примерно в 50 раз меньше поглощенной им энергии электрического поля (в рабочих зонах открытых распределительных устройств и проводов ВЛ-750 кВ напряженность магнитного поля составляет 20—25 А/м при опасности вредного влияния 150—200 А/м).

На основании этого был сделан вывод, что отрицательное действие электромагнитных полей электроустановок сверхвысокого напряжения (50 Гц) обусловлено электрическим полем, то есть нормируется напряженность E, кВ/м.

В различных точках пространства вблизи электроустановок напряженность электрического поля имеет разные значения и зависит от ряда факторов: номинального напряжения, расстояния (по высоте и горизонтали) рассматриваемой точки от токоведущих частей и др.

7.3. Воздействие электромагнитных полей на организм человека

Промышленная электротермия, в которой применяются токи радиочастот для электротермической обработки материалов и изделий (сварка, плавка, ковка, закалка, пайка металлов; сушка, спекание и склеивание неметаллов), широкое внедрение радиоэлектроники в народное хозяйство позволяют значительно улучшить условия труда, снизить трудоемкость работ, добиться высокой экономичности процессов производства. Однако электромагнитные

излучения радиочастотных установок, воздействуя на организм человека в дозах, превышающих допустимые, могут явиться причиной профессиональных заболеваний. В результате возможны изменения нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной и других систем организма человека.

Действие электромагнитных полей на организм человека проявляется в функциональном расстройстве центральной нервной системы; субъективные ощущения при этом — повышенная утомляемость, головные боли и т. п. Первичным проявлением действия электромагнитной энергии является нагрев, который может привести к изменениям и даже к повреждениям тканей и органов. Механизм поглощения энергии достаточно сложен. Возможны также перегрев организма, изменение частоты пульса, сосудистых реакций. Поля сверхвысоких частот могут оказывать воздействие на глаза, приводящее к возникновению катаракты (помутнению хрусталика). Многократные повторные облучения малой интенсивности могут приводить к стойким функциональным расстройствам центральной нервной системы. Степень биологического воздействия электромагнитных полей на организм человека зависит от частоты колебаний, напряженности и интенсивности поля, длительности его воздействия. Биологическое воздействие полей разных диапазонов неодинаково. Изменения, возникающие в организме под воздействием электромагнитных полей, чаще всего обратимы.

В результате длительного пребывания в зоне действия электромагнитных полей наступают преждевременная утомляемость, сонливость или нарушение сна, появляются частые головные боли, наступает расстройство нервной системы и др. При систематическом облучении наблюдаются стойкие нервно-психические заболевания, изменение кровяного давления, замедление пульса, трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей и т. п.).

Аналогичное воздействие на организм человека оказывает электромагнитное поле промышленной частоты в электроустановках сверхвысокого напряжения. Интенсивные электромагнитные поля вызывают у работающих нарушение функционального состояния центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и периферической крови. При этом наблюдаются повышенная

утомляемость, вялость, снижение точности рабочих движений, изменение кровяного давления и пульса, возникновение болей в сердце (обычно сопровождается аритмией), головные боли.

Предполагается, что нарушение регуляции физиологических функций организма обусловлено воздействием поля на различные отделы нервной системы. При этом повышение возбудимости центральной нервной системы происходит за счет рефлекторного действия поля, а тормозной эффект — за счет прямого воздействия поля на структуры головного и спинного мозга. Считается, что кора головного мозга, а также промежуточный мозг особенно чуствительны к воздействию поля.

Наряду с биологическим действием электрическое поле обусловливает возникновение разрядов между человеком и металлическим предметом, имеющим иной, чем человек, потенциал. Если человек стоит непосредственно на земле или на токопроводящем заземленном основании, то потенциал его тела практически равен нулю, а если он изолирован от земли, то тело оказывается под некоторым потенциалом, достигающим иногда нескольких киловольт.

Очевидно, что прикосновение человека, изолированного от земли, к заземленному металлическому предмету, равно как и прикосновение человека, имеющего контакт с землей, к металлическому предмету, изолированному от земли, сопровождается прохождением через человека в землю разрядного тока, который может вызывать болезненные ощущения, особенно в первый момент. Часто прикосновение сопровождается искровым разрядом. В случае прикосновения к изолированному от земли металлическому предмету большой протяженности (трубопровод, проволочная ограда на деревянных стойках и т. п. или большого размера металлическая крыша деревянного здания и пр.) сила тока, проходящего через человека, может достигать значений, опасных для жизни.

7.4. Нормирование электромагнитных полей

Исследованиями установлено, что биологическое действие одного и того же по частоте электромагнитного поля зависит от напряженности его составляющих (электрической и магнитной) или плотности потока мощности для диапазона более 300 МГц. Это является критерием для

определения биологической активности электромагнитных излучений. Для этого электромагнитные излучения с частотой до 300 МГц разбиты на диапазоны, для которых установлены предельно допустимые уровни напряженности электрической, В/м, и магнитной, А/м, составляющих поля. Для населения еще учитывают их местонахождение в зоне застройки или жилых помещений.

Согласно ГОСТ 12.1.006—84, нормируемыми параметрами в диапазоне частот 60 кГц — 300 МГц являются напряженности E и H электромагнитного поля. На рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, профессионально связанного с воздействием электромагнитного поля, предельно допустимая напряженность этого поля в течение всего рабочего дня не должна превышать нормативных значений.

Эффект воздействия электромагнитного поля на биологический объект принято оценивать количеством электромагнитной энергии, поглощаемой этим объектом при нахождении его в поле, Вт:

$$W_{\text{погл}} = \sigma S_{\text{эф}}, \qquad (46)$$

где σ — плотность потока мощности излучения электромагнитной энергии, Вт/м^2; $S_{\text{эф}}$ — эффективная поглощающая поверхность тела человека, м^2.

В табл. 3 приведены предельно допустимые плотности потока энергии электромагнитных полей (ЭМП) в диапазоне частот 300 МГц — 300 000 ГГц и время пребыва-

Таблица 3. **Нормы облучения УВЧ и СВЧ**

Плотность потока мощности энергии σ, Вт/м^2	Допустимое время пребывания в зоне воздействия ЭМП	Примечание
До 0,1	Рабочий день	—
0,1—1	Не более 2 ч	В остальное рабочее время плотность потока энергии не должна превышать 0,1 Вт/м^2
1—10	Не более 10 мин	При условии пользования защитными очками. В остальное рабочее время плотность потока энергий не должна превышать 0,1 Вт/м^2

ния на рабочих местах и в местах возможного нахождения персонала, профессионально связанного с воздействием ЭМП.

В табл. 4 приведено допустимое время пребывания человека в электрическом поле промышленной частоты сверхвысокого напряжения (400 кВ и выше).

Таблица 4. **Предельно допустимое время пребывания человека в электрическом поле напряжением 400 кВ и выше (50 Гц)**

Электрическая напряженность E, кВ/м	Допустимое время пребывания, мин	Примечание
$\leqslant 5$	Без ограничений (рабочий день)	—
5—10	$\leqslant 180$	Остальное время рабочего дня человек находится в местах, где напряженность электрического поля меньше или равна 5 кВ/м
10—15	$\leqslant 90$	
15—20	$\leqslant 10$	
20—25	$\leqslant 5$	

Ограничение времени пребывания человека в электромагнитном поле представляет собой так называемую «защиту временем».

Если напряженность поля на рабочем месте превышает 25 кВ/м или если требуется бóльшая продолжительность пребывания человека в поле, чем указано в табл. 4, работы должны производиться с применением защитных средств — экранирующих устройств или экранирующих костюмов.

Пространство, в котором напряженность электрического поля равна 5 кВ/м и больше, принято называть *опасной зоной* или *зоной влияния*. Приближенно можно считать, что эта зона лежит в пределах круга с центром в точке расположения ближайшей токоведущей части, находящейся под напряжением, и радиусом $R = 20$ м для электроустановок 400—500 кВ и $R = 30$ м для электроустановок 750 кВ (рис. 18). На пересечениях линий электропередачи сверхвысокого (400—750 кВ) и ультравысокого (1150 кВ) напряжения с железными и автомобильными дорогами устанавливаются специальные знаки безопасности, ограничивающие зоны влияния этих воздушных линий.

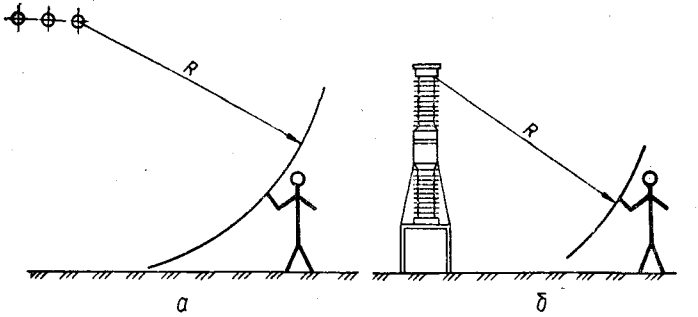


Рис. 18. Радиусы опасных зон (зон влияния):

а — источник влияния — открытое распределительное устройство или провода воздушной линии электропередачи; *б* — источник влияния — токоведущие части аппаратов

Допустимое значение тока, длительно проходящего через человека и обусловленного воздействием электрического поля электроустановок сверхвысокого напряжения, составляет примерно 50—60 мкА, что соответствует напряженности электрического поля на высоте роста человека примерно 5 кВ/м. Если при электрических разрядах, возникающих в момент прикосновения человека к металлической конструкции, имеющей иной, чем человек, потенциал, установившийся ток не превышает 50—60 мкА, то человек, как правило, не испытывает болевых ощущений. Поэтому это значение тока принято в качестве нормативного (допустимого).

7.5. Измерение интенсивности электромагнитных полей

Для определения интенсивности электромагнитных полей, воздействующих на обслуживающий персонал, замеры проводят в зоне нахождения персонала по высоте от уровня пола (земли) до 2 м через 0,5 м. Для определения характера распространения и интенсивности полей в цехе, на участке, в кабине, помещении (лаборатории и др.) должны быть проведены измерения в точках пересечения координатной сетки со стороной в 1 м. Измерения проводят (при максимальной мощности установки) периодически, не реже одного раза в год, а также при приеме в эксплуатацию новых установок, изменениях в конструкции и схеме установки, проведении ремонтов и т. д.

Исследования электромагнитных полей на рабочих местах должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002—84, ГОСТ 12.1.006—84 по методике, утвержденной Минздравом СССР.

Для измерения интенсивности электромагнитных полей радиочастот используется прибор ИЭМП-1. Этим прибором можно измерить напряженности электрического и магнитного полей вблизи излучающих установок в диапазоне частот 100 кГц—300 МГц для электрического поля и в диапазоне частот 100 кГц — 1,5 МГц — для магнитного поля. С помощью данного прибора можно установить зону, в пределах которой напряженность поля выше допустимой.

Плотность потока мощности в диапазоне УВЧ—СВЧ измеряют прибором ПО-1, с помощью которого можно определить среднее по времени значение σ, Вт/м^2.

Измерения напряженности электрического поля в электроустановках сверхвысокого напряжения производят приборами типа ПЗ-1, ПЗ-1 м и др.

Измеритель напряженности электрического поля работает следующим образом. В антенне прибора электрическое поле создает э. д. с., которая усиливается с помощью транзисторного усилителя, выпрямляется полупроводниковыми диодами и измеряется стрелочным микроамперметром. Антенна представляет собой симметричный диполь, выполненный в виде двух металлических пластин, размещенных одна над другой. Поскольку наведенная в симметричном диполе э. д. с. пропорциональна напряженности электрического поля, шкала миллиамперметра отградуирована в киловольтах на метр (кВ/м).

Измерение напряженности должно производиться во всей зоне, где может находиться человек в процессе выполнения работы. Наибольшее измеренное значение напряженности является определяющим. При размещении рабочего места на земле наибольшая напряженность обычно бывает на высоте роста человека. Поэтому замеры рекомендуется производить на высоте 1,8 м от уровня земли.

Напряженность электрического поля, кВ/м, для любой точки можно определить из выражения

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 m}, \qquad (47)$$

где τ — линейная плотность заряда провода, Кл/м; $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ — электрическая постоянная, Ф/м; m — кратчайшее расстояние от провода до точки, в которой определяется напряженность, м.

Это выражение предусматривает определение напряженности электрического поля уединенного бесконечно длинного прямолинейного проводника, заряженного равномерно по длине. Вводя соответствующие поправки, можно с достаточной точностью определить уровни напряженности электрического поля в заданных точках линии и подстанции сверхвысокого напряжения в реальных условиях.

7.6. Методы защиты от электромагнитных полей

Основные меры защиты от воздействия электромагнитных излучений:

уменьшение излучения непосредственно у источника (достигается увеличением расстояния между источником направленного действия и рабочим местом, уменьшением мощности излучения генератора);

рациональное размещение СВЧ и УВЧ установок (действующие установки мощностью более 10 Вт следует размещать в помещениях с капитальными стенами и перекрытиями, покрытыми радиопоглощающими материалами — кирпичом, шлакобетоном, а также материалами, обладающими отражающей способностью — масляными красками и др.);

дистанционный контроль и управление передатчиками в экранированном помещении (для визуального наблюдения за передатчиками оборудуются смотровые окна, защищенные металлической сеткой);

экранирование источников излучения и рабочих мест (применение отражающих заземленных экранов в виде листа или сетки из металла, обладающего высокой электропроводностью — алюминия, меди, латуни, стали);

организационные меры (проведение дозиметрического контроля интенсивности электромагнитных излучений — не реже одного раза в 6 месяцев; медосмотр — не реже одного раза в год; дополнительный отпуск, сокращенный рабочий день, допуск лиц не моложе 18 лет и не имеющих заболеваний центральной нервной системы, сердца, глаз);

применение средств индивидуальной защиты (спецодежда, защитные очки и др.).

У индукционных плавильных печей и нагревательных индукторов (высокие частоты) допускается напряженность поля до 20 В/м. Предел для магнитной составляющей напряженности поля должен быть 5 А/м. Напряженность ультравысокочастотных электромагнитных полей (средние и длинные волны) на рабочих местах не должна превышать 5 В/м.

Каждая промышленная установка снабжается техническим паспортом, в котором указаны электрическая схема, защитные приспособления, место применения, диапазон волн, допустимая мощность и т. д. По каждой установке ведут эксплуатационный журнал, в котором фиксируют состояние установки, режим работы, исправления, замену деталей, изменения напряженности поля. Пребывание персонала в зоне воздействия электромагнитных полей ограничивается минимально необходимым для проведения операций временем.

Новые установки вводят в эксплуатацию после приемки их, при которой устанавливают выполнение требований и норм охраны труда, норм по ограничению полей и радиопомех, а также регистрации их в государственных контролирующих органах.

Генераторы токов высокой частоты устанавливают в отдельных огнестойких помещениях, машинные генераторы — в звуконепроницаемых кабинах. Для установок мощностью до 30 кВт отводят площадь не менее 40 м², большей мощности — не менее 70 м². Расстояние между установками должно быть не менее 2 м, помещения экранируют, в общих помещениях установки размещают в экранированных боксах. Обязательна общая вентиляция помещений, а при наличии вредных выделений — и местная. Помещения высокочастотных установок запрещается загромождать металлическими предметами. Наиболее простым и эффективным методом защиты от электромагнитных полей является «защита расстоянием». Зная характеристики металла, можно рассчитать толщину экрана δ, мм, обеспечивающую заданное ослабление электромагнитных полей на данном расстоянии:

$$\delta = \frac{\ln \mathcal{E}_x}{\sqrt{\omega \mu \gamma / 2}}, \qquad (48)$$

где $\omega = 2\pi f$ — угловая частота переменного тока, рад/с; μ — магнитная проницаемость металла защитного экрана, Г/м; γ — электрическая проводимость металла экра-

на (Ом · м)$^{-1}$; $Э_x$ — эффективность экранирования на рабочем месте, определяемая из выражения

$$Э_x = H_x/H_{xэ}, \tag{49}$$

где H_x и $H_{xэ}$ — максимальные значения напряженности магнитной составляющей поля на расстоянии x, м, от источника соответственно без экрана и с экраном, А/м.

Напряженность H_x может быть определена из выражения

$$H_x = \frac{wIa^2}{4x^2}\beta_m, \tag{50}$$

где w и a — число витков и радиус катушки, м; I — сила тока в катушке, А; x — расстояние от источника (катушки) до рабочего места, м; β_m — коэффициент, определяемый соотношением x/a (при $x/a > 10$ $\beta_m = 1$).

Если регламентируется допустимая электрическая составляющая поля $E_д$, магнитная составляющая может быть определена из выражения

$$H_д = 1{,}27 \cdot 10^5 \frac{E_д}{xf}, \tag{51}$$

где f — частота поля, Гц.

Экранирование — наиболее эффективный способ защиты. Электромагнитное поле ослабляется экраном вследствие создания в толще его поля противоположного направления. Степень ослабления электромагнитного поля зависит от глубины проникновения высокочастотного тока в толщу экрана. Чем больше магнитная проницаемость экрана и выше частота экранируемого поля, тем меньше глубина проникновения и необходимая толщина экрана. Экранируют либо источник излучений, либо рабочее место. Экраны бывают отражающие и поглощающие.

Для защиты работающих от электромагнитных излучений применяют заземленные экраны, кожухи, защитные козырьки, устанавливаемые на пути излучения. Средства защиты (экраны, кожухи) из радиопоглощающих материалов выполняют в виде тонких резиновых ковриков, гибких или жестких листов поролона, ферромагнитных пластин.

Для защиты от электрических полей сверхвысокого напряжения (50 Гц) необходимо увеличивать высоту подвеса фазных проводов ЛЭП. Для открытых распределительных устройств рекомендуются заземленные экраны

(стационарные или временные) в виде козырьков, навесов и перегородок из металлической сетки возле коммутационных аппаратов, шкафов управления и контроля. К средствам индивидуальной защиты от электромагнитных излучений относят переносные зонты, комбинезоны и халаты из металлизированной ткани, осуществляющие защиту организма человека по принципу заземленного сетчатого экрана.

7.7. Защита от лазерного излучения

Лазеры широко применяют в технике, медицине. Принцип действия лазеров основан на использовании вынужденного электромагнитного излучения, возникающего в результате возбуждения квантовой системы. Лазерное излучение является электромагнитным излучением, генерируемым в диапазоне длин волн 0,2—1000 мкм, который может быть разбит в соответствии с биологическим действием на ряд областей спектра: 0,2—0,4 мкм — ультрафиолетовая область; 0,4—0,7 — видимая; 0,75—1,4 мкм — ближняя инфракрасная; свыше 1,4 мкм — дальняя инфракрасная область. Основными энергетическими параметрами лазерного излучения являются: энергия излучения, энергия импульса, мощность излучения, плотность энергии (мощности) излучения, длина волны.

При эксплуатации лазерных установок обслуживающий персонал может подвергаться воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов. Основную опасность представляют прямое, рассеянное и отраженное излучение.

Наиболее чувствительным органом к лазерному излучению являются глаза — повреждения сетчатки глаз могут быть при сравнительно небольших интенсивностях.

Лазерная безопасность — это совокупность технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасные условия труда персонала при использовании лазеров. Способы защиты от лазерного излучения подразделяют на коллективные и индивидуальные.

Коллективные средства защиты включают: применение телевизионных систем наблюдений за ходом процесса, защитные экраны (кожухи); системы блокировки

и сигнализации; ограждение лазерно-опасной зоны. Для контроля лазерного излучения и определения границ лазерно-опасной зоны применяют калориметрические, фотоэлектрические и другие приборы.

В качестве *средств индивидуальной защиты* используют специальные противолазерные очки, щитки, маски, технологические халаты и перчатки. Для уменьшения опасности поражения за счет уменьшения диаметра зрачка оператора в помещениях должна быть хорошая освещенность рабочих мест: коэффициент естественной освещенности должен быть не менее 1,5 %, а общее искусственное освещение должно создавать освещенность не менее 150 лк.

Учебно-поисковая задача

Возможные пути защиты населения от электромагнитных полей.

Бурное развитие НТП привело к тому, что электромагнитные поля (ЭМП), созданные человеком, в отдельных районах в сотни раз выше среднего естественного поля. В условиях современного города на организм человека оказывают влияние электромагнитные поля, источниками которых являются различные радиопередающие устройства, электрифицированные транспортные линии и линии электропередач. Количество источников ЭМП с каждым годом возрастает. Подвергается воздействию ЭМП и сельское население, проживающее в районах прохождения высоковольтных ЛЭП, особенно при выращивании сельскохозяйственных культур в зонах влияния ЭМП.

Искусственные ЭМП существенно нарушают естественную электромагнитную обстановку, в результате чего значительная часть населения живет в условиях повышенной электромагнитной активности. В связи с непрерывным и быстрым развитием единой энергосистемы СССР и формированием объединенной энергосистемы в рамках СЭВ в последние годы сооружаются мощные магистральные ЛЭП сверхвысокого напряжения (500, 750, 1150 кВ). При этом возникает проблема биологического действия электрического поля промышленной частоты в условиях населенных мест.

Согласно норм эти ЛЭП не проходят по территории населенных пунктов. В отдельных случаях они пересекают дачные поселки, сады, огороды и т. п. Около 80 % ЛЭП проходят по пахотным угодьям, где периодически находятся люди. В местах наибольшего провисания проводов и на расстоянии 5 м от линии напряженность составляет для ЛЭП 500 кВ 8 кВ/м, 750 кВ — более 15 кВ/м.

Население, подвергающееся воздействию ЭМП, условно можно разделить на три группы: I группа — лица, подвергающиеся воздействию ЭМП до 30 мин/сут, II группа — до 120 мин, III группа — почти круглосуточно. Исследования, проводившиеся над животными, показали опасность длительного облуче-

ния в поле большой интенсивности. Это говорит о том, что требуются эффективные способы по защите населения от электромагнитных полей.

В целях защиты населения от воздействия электрического поля высоковольтных линий устанавливаются санитарно-защитные зоны. В качестве предельно допустимых уровней (ПДУ) приняты следующие значения напряженности электрического поля: внутри жилых зданий 0,5 кВ/м; на территории зоны жилой застройки 1 кВ/м; в населенной местности (земли городов, поселков, сельских населенных пунктов, на территории огородов и садов) — 5 кВ/м; на участках пересечения ВЛ с автомобильными дорогами I—IV категории — 10 кВ/м; в ненаселенной местности (включая сельскохозяйственные угодья) — 15 кВ/м; в труднодоступной местности — 20 кВ/м.

Если напряженность электрического поля превышает ПДУ, должны быть приняты меры по ее снижению: путем удаления жилой застройки от ВЛ; выращиванием сельскохозяйственных культур, не требующих ручной обработки. Эффективно применение различных экранов: высоких кустарников, деревьев, строительных конструкций из дерева и кирпича. Следовательно, осуществляя различного рода планировочные и технические мероприятия, можно снизить интенсивность электрического поля до гигиенически допустимых величин как на селитебной территории, так и внутри зданий. Машины и механизмы, находящиеся в санитарно-защитных зонах, должны быть заземлены. В качестве заземлителя допускается использовать металлическую цепь, касающуюся земли. Машины без крытых металлических кабин должны быть оснащены экранами. На территории санитарно-защитных зон ВЛ—750 кВ и выше запрещается проведение с/х и других работ лицами в возрасте до 18 лет.

Пример 5. Рассчитать эффективность алюминиевого экрана радиусом $R = 0{,}35$ м, если известно : $f = 6 \cdot 10^4$ Гц; $\mu_э = 4\pi \times$ $\times 10^{-7}$ г/м; $\gamma_э = 3{,}55 \cdot 10^7 \frac{1}{\text{Ом}\cdot\text{м}}$; $\mu' = 1$; $I = 380$ А; $W =$ $= 14$; $a = 0{,}1$ м; $l = 0{,}3$ м; $x = 0{,}8$ м.

Решение. 1. Определяем допустимую величину магнитной составляющей поля с учетом, что допустимая напряженность поля $E_{п.д} = 5$ В/м (по санитарным нормам):

$$H_{п.д} = 1{,}27 \cdot 10^5 \frac{E_{п.д}}{xf} = 1{,}27 \cdot 10^5 \frac{5}{0{,}8 \cdot 6 \cdot 10^4} = 13{,}2 \text{ А/м}.$$

2. Напряженность на рабочем месте при отсутствии экрана

$$H_x = \frac{WIa^2}{4x^2} = \frac{14 \cdot 380 \cdot 0{,}1^2}{4 \cdot 0{,}8^2} = 20{,}7 \text{ А/м}.$$

3. Требуемая эффективность экранирования на рабочем месте

$$Э_{х.тр} = \frac{H_x}{H_{п.д}} = \frac{20{,}7}{13{,}2} = 1{,}57.$$

4. Действительная эффективность экранирования на рабочем месте

$$Э_{х.д} = \frac{R^{d/\delta}}{2\sqrt{2}\delta\mu_э'} = \frac{0{,}35 \cdot 0{,}3^{1/0{,}32}}{2\sqrt{2} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot 1} = Э_{х.д} = 10{,}5 > Э_{х.тр} = 1{,}57,$$

где d — толщина экрана, мм; δ — глубина проникновения поля в экран, м; $\mu_э'$ — относительная магнитная проницаемость экрана ($\mu_э' = \mu_э/\mu_0$).

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_э \gamma_э \omega f}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3{,}55 \cdot 10^7 \cdot 314 \cdot 6 \cdot 10^4}} = 0{,}32 \text{ мм}.$$

Из конструктивных соображений принимаем $d = 1$ мм.

Следовательно, $Э_{х.д} = 10{,}5 > Э_{х.тр} = 1{,}57$, то есть выбранный экран обеспечивает требуемую защиту на данном рабочем месте.

Глава 8
ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

8.1. Виды ионизирующих излучений, их физическая природа

Ионизирующим излучением называют любой вид излучения, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков. Ионизирующие излучения, проникая в организм человека и проходя через биологическую ткань, вызывают в ней появление заряженных частиц — свободных электронов. В свою очередь, свободные электроны, взаимодействуя с соседними атомами, ионизируют их, что сопровождается изменением структуры молекул, разрушением межмолекулярных связей и гибелью клеток. Изменение биохимического состава клеток и обменных процессов нарушает функции центральной нервной системы, что, в свою очередь, вызывает нарушение функций желез внутренней секреции, изменение сосудистой проницаемости.

Радиоактивные вещества широко применяются в различных отраслях промышленности, а также в научно-исследовательских работах. Так, ионизирующие излучения широко применяются в машино- и приборостроении, в горнорудной и угольной промышленности, металлургии и в других отраслях народного хозяйства для

автоматического контроля технологических операций и управления ими, выявления дефектов (дефектоскопия) в отливках, поковках, сварных швах, для контроля качества изделий. Применяются они также при структурном анализе кристаллических веществ. Источниками ионизирующих излучений, кроме радиоактивных веществ, могут быть электровакуумные приборы, работающие при высоких напряжениях (рентгеновские аппараты). Широко используются радиоактивные вещества и другие источники ионизирующего излучения в медицине, атомной энергетике и др.

К ионизирующим излучениям относятся альфа-, бета-, гамма-излучение, рентгеновское излучение, потоки нейтронов и других ядерных частиц, космические лучи.

Альфа-излучение представляет собой поток α-частиц положительно заряженных ядер атомов гелия, испускаемых веществом при радиоактивном распаде ядер или при ядерных реакциях. Альфа-излучение характеризуется большой ионизирующей и малой проникающей способностями. Вследствие этих свойств α-частицы не проникают через внешний слой кожи. Вредное воздействие на организм человека проявляется при нахождении его в зоне действия вещества, излучающего α-частицы.

Бета-излучение представляет собой поток электронов или позитронов, излучаемых ядрами атомов радиоактивных веществ при радиоактивном распаде. Максимальный пробег в воздухе составляет 1800 см, а в живых тканях — 2,5 см. Ионизирующая способность β-частиц ниже, а проникающая способность выше, чем α-частиц, так как они обладают значительно меньшей массой и при одинаковой с α-частицами энергии имеют меньший заряд.

Гамма-излучение — электромагнитное (фотонное) излучение, испускаемое при ядерных превращениях или взаимодействии частиц. Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и малым ионизирующим действием. Это высокочастотное электромагнитное излучение, возникающее в процессе ядерных реакций или радиоактивного распада.

Нейтронное излучение — поток нейтронов, которые преобразуют свою энергию в упругих и неупругих взаимодействиях с ядрами атомов. При неупругих взаимодействиях возникает вторичное излучение, которое может состоять как из заряженных частиц, так и из гамма-

квантов (гамма-излучения). При упругих взаимодействиях возможна обычная ионизация вещества. Проникающая способность нейтронов бо́льшая.

Рентгеновское излучение, возникающее при бомбардировке вещества потоком электронов, является также электромагнитным излучением. Оно может возникнуть в любых электровакуумных установках, обладающих малой ионизирующей способностью и большой глубиной проникновения.

При оценке возможной радиационной опасности необходимо учитывать загрязнение воздуха при работах с радиоактивными веществами. Оно происходит не только при механическом измельчении твердого вещества, разбрызгивании жидкого вещества или конденсации паров, но и в результате образования радиоактивных аэрозолей самопроизвольным путем.

Источники излучения могут быть закрытыми, когда при эксплуатации исключается попадание радиоактивных веществ в окружающую среду, и открытыми, когда возможно попадание радиоактивных веществ в окружающую среду.

8.2. Биологическое воздействие ионизирующих излучений на организм человека

Ионизирующие излучения, проникая в организм человека, могут стать причиной тяжелых заболеваний. Работа с источниками ионизирующих излучений связана с невидимой опасностью для обслуживающего персонала. В результате воздействия излучения на организм человека в тканях происходят сложные физические, химические и биохимические процессы. Эти излучения ионизируют молекулы тканей. Процессы ионизации сопровождаются ультрафиолетовыми излучениями, возбуждающими молекулы клеток. Это ведет к разрыву молекулярных связей и изменению химической структуры различных соединений. Такое действие излучения называют *прямым*. Как известно, в организме содержится более 70 % воды. Под действием излучения она ионизируется, то есть образуются положительные и отрицательные ионы, которые, распадаясь, вступают в химические соединения со свободным кислородом. Эти соединения взаимодействуют с молекулами органического вещества ткани, окисляя и разрушая ее. Такое действие излучения

называется *непрямым*. Оно наносит бо́льший вред, чем прямое.

Особенностью ионизирующих излучений является то, что их воздействие на организм не обнаруживается до тех пор, пока не проявится то или иное поражение.

Возможно внешнее и внутреннее облучение организма. Внешнее облучение — это воздействие на организм ионизирующих излучений от внешних по отношению к нему источников, а внутреннее — это воздействие радиоактивных веществ, находящихся внутри организма.

При внешнем облучении, создаваемом закрытыми источниками, опасны излучения, обладающие большой проникающей способностью. Внутреннее облучение возможно, когда радиоактивное вещество попадает внутрь организма через органы дыхания, поры кожи или места ее повреждения, слизистые оболочки, желудочно-кишечный тракт. Внутреннее облучение действует в течение всего времени нахождения радиоактивного вещества в организме. Поэтому наибольшую опасность представляют радиоактивные изотопы с большим периодом полураспада и интенсивным излучением, медленно выделяющиеся из организма или концентрирующиеся в отдельных его органах.

Чем больше происходит в веществе актов ионизации под воздействием излучения, тем больше биологический эффект. Острые поражения, вызванные радиацией, наступают при облучении большими дозами в течение короткого промежутка времени; хронические поражения — при облучении небольшими дозами в течение длительного периода (могут быть общими или местными). Различные виды ионизирующих излучений оказывают различное биологическое действие. Лучевая болезнь, развивающаяся в результате воздействия ионизирующих излучений, может быть острой и хронической, в виде общих и местных поражений. Общие поражения вызывают лейкемию (белокровие), местные — ведут к заболеваниям кожи и злокачественным опухолям.

Периодическое попадание радиоактивных веществ внутрь организма приводит к их накоплению и в конечном счете к увеличению ионизации атомов и молекул живой ткани. В результате происшедших изменений нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ нарушаются, что приводит к лучевой болезни. Действуя на

кожу, ионизирующие излучения вызывают ожоги или ее сухость, выпадение волос, ломкость ногтей и т. д.; при действии на глаза — катаракту. Могут также возникнуть и генетические последствия, ведущие к наследственным заболеваниям, проявляющимся в последующих поколениях. Последствия воздействия ионизирующих излучений на организм человека могут быть очень тяжелыми, включая потерю трудоспособности и летальный (смертельный) исход.

8.3. Единицы активности и дозы ионизирующих излучений

Для количественной оценки действия, производимого любыми ионизирующими излучениями в среде, пользуются понятием поглощенная доза излучения $Д_п$, Дж/кг:

$$Д_п = W/m, \qquad (52)$$

где W — энергия ионизирующего излучения, поглощенная облученным веществом, Дж; m — масса облученного вещества, кг.

Внесистемной единицей поглощенной дозы является рад (1 рад соответствует поглощению энергии 0,01 Дж веществом массой 1 кг).

Таким образом, специальной единицей поглощенной дозы является рад, который связан с единицей поглощенной дозы Дж/кг (джоуль на килограмм) или грей (Гр):

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}.$$

Количественной характеристикой рентгеновского и гамма-излучений является экспозиционная доза $Д_э$, Кл/кг:

$$Д_э = Q/m, \qquad (53)$$

где Q — суммарный электрический заряд ионов одного знака, Кл; m — масса воздуха, кг.

За единицу экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений принимают кулон на килограмм (Кл/кг) — экспозиционная доза, при которой сопряженная с этим излучением корпускулярная эмиссия на 1 кг сухого атмосферного воздуха создает в воздухе ионы, несущие заряд 1 Кл электричества каждого знака.

Внесистемной единицей экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений является рентген — та-

кая доза, при которой сопряженная с этим излучением корпускулярная эмиссия в 1,293 · 10^{-6} г сухого воздуха при нормальных условиях (при температуре 0 °С и давлении 760 мм рт. ст.) образует ионы, несущие 1 ед. заряда СГС каждого знака; 1 рентген (Р) = 10^3 миллирентгенам (мР), а 1 миллирентген — 10^6 микрорентгенам (мкР).

Экспозиционная и поглощенная дозы, отнесенные ко времени, определяются как мощности доз и измеряются соответственно в рентгенах в секунду (Р/с) и радах в секунду (рад/с). В условиях электронного равновесия экспозиционной дозе 1 Р соответствует поглощенная доза в воздухе, равная 0,88 рад: 1Р = 0,285 мКл/кг.

Воздействие различных радиоактивных излучений на живые ткани зависит от проникающей и ионизирующей способности излучения. Разные виды излучений при одинаковых значениях поглощенной дозы вызывают различный биологический эффект. Поэтому для оценки радиационной опасности введено понятие эквивалентной дозы $Д_{экв}$, единицей которой является бэр (биологический эквивалент рада):

$$Д_{экв} = Д_э/k, \qquad (54)$$

где k — качественный коэффициент, показывающий отношение биологической эффективности данного вида излучений к биологической эффективности рентгеновского излучения, принятого за единицу.

1 бэр — эквивалентная доза любого ионизирующего излучения в биологической ткани, которая создает тот же биологический эффект, что и доза в 1 рад рентгеновского или гамма-излучения.

Введено понятие активности A радиоактивного вещества с единицей беккерель (Бк), 1 Бк равен одному ядерному превращению в секунду. Введена также специальная единица активности Кюри (1 Ки = 3,7 × × 10^{10} Бк). На практике применяется единица активности милликюри (мКи).

Экспозиционную дозу на рабочем месте $Д_э$, бэр, можно рассчитать по формуле

$$Д_э = \frac{AK_\gamma t}{R^2}, \qquad (55)$$

где A — активность источника, мКи; K_γ — гамма-постоянная изотопа по таблице, Р · см² / (ч · мКи); t — вре-

мя облучения, ч; R — расстояние от источника до рабочего места, см.

Гамма-эквивалент источника m_{Ra} — условная масса источника, создающего на некотором расстоянии такую же мощность экспозиционной дозы, как и данный источник. Специальной единицей гамма-эквивалента является килограмм-эквивалент радия (1 кг-экв Ra на расстоянии 1 см в воздухе от источника создает мощность экспозиционной дозы 8,4 · 10^6 Р/ч, соответственно 1 мг-экв Ra = 8,4 Р/ч).

Понятие гамма-эквивалента используется при сравнении препаратов по их гамма-излучению. Если два препарата при равных условиях измерения создают одну и ту же мощность экспозиционной дозы, то говорят, что они имеют одинаковый гамма-эквивалент.

При оценке доз облучения определяющими являются сведения о количественном содержании радиоактивных веществ в теле человека, а не данные о концентрации их в окружающей среде. Допустимые уровни облучения нужно рассматривать как максимально разрешенные дозы.

8.4. Нормирование ионизирующих излучений

В настоящее время предельно допустимые уровни ионизирующего облучения определяются Нормами радиационной безопасности и Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (НРБ-76/87 и ОСП-72/87).

Условия безопасности при использовании радиоактивных изотопов в промышленности требуют проведения мероприятий не только в отношении людей, непосредственно работающих с радиоактивными веществами или находящихся в смежных помещениях, но и населения, живущего на близких расстояниях от предприятия, которое может подвергаться радиоактивному облучению.

В соответствии с нормами установлены следующие категории облучаемых лиц: категория А — персонал; категория Б — ограниченная часть населения; категория В — население области, края, республики, страны.

Персонал — лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений.

Ограниченная часть населения — лица, которые не работают непосредственно с источниками излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждениях и удаляемых во внешнюю среду с отходами.

Безопасность работающих с радиоактивными веществами обеспечивается путем установления предельно допустимых доз (ПДД) облучения различными видами радиоактивных веществ, применения защиты временем или расстоянием, проведения общих мер защиты, использования средств индивидуальной защиты.

Действующими нормами установлены ПДД облучения, а также годовой уровень облучения персонала, не вызывающий при равномерном накоплении дозы в течение 50 лет обнаруживаемых современными методами неблагоприятных изменений в состоянии здоровья самого облучаемого и его потомства.

Радиоактивные вещества неравномерно распределяются в различных органах и тканях человека. Поэтому и степень их поражения зависит не только от величины дозы, создаваемой излучением, но и от критического органа, в котором происходит наибольшее накопление радиоактивных веществ, приводящее к поражению всего организма человека.

Нормы радиационной безопасности устанавливают ПДД внешнего и внутреннего облучения в зависимости от групп критических органов и категории облучаемых лиц.

ПДД внешнего и внутреннего облучения устанавливаются (в порядке убывания радиочувствительности) для трех групп критических органов или тканей человека: I — все тело, костный мозг; II — мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталик глаза; III — кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, лодыжки и стопы.

ПДД внешнего и внутреннего облучения критических органов персонала (категория А) приведены в табл. 5, а ПДД в зависимости от категорий облучения и группы критических органов — в табл. 6.

В любом случае доза, накопленная в возрасте до 30 лет, не должна превышать 12 ПДД.

Таблица 5. **ПДД внешнего и внутреннего облучения персонала**

Группа критических органов или тканей	ПДД, бэр	
	за квартал	за год
I	3	5
II	8	15
III	15	30

Таблица 6. **Дозовые пределы внешнего и внутреннего облучения**

Категории лиц, подвергающихся облучению	Значения ПДД (для категории А) и предел дозы (для категории Б) для групп критических органов		
	I	II	III
А	5	15	30
Б	0,5	1,5	3

ПДД облучения для лиц категории А в группе I не должна превышать ПДД, определяемую по формуле

$$Д \leqslant 5\,(N - 18), \qquad (56)$$

где Д — доза, бэр; N — возраст, лет.

Для защиты от внутреннего облучения необходимо исключить контакт с радиоактивными веществами в открытом виде, предотвратить попадание их внутрь организма, в воздух рабочей зоны, а также не допускать радиоактивного загрязнения рук, одежды, поверхностей помещения и оборудования. Радиоактивные вещества в открытом виде как потенциальные источники внутреннего облучения делятся по степени радиотоксичности на пять групп: А, Б, В, Г и Д.

Работы с открытыми радиоактивными веществами в зависимости от их активности на рабочем месте и относительной радиотоксичности делятся на три класса. Работы III класса можно проводить в общих химических лабораториях, а работы I и II классов — только в специально оборудованных помещениях, к которым предъявляются особые санитарные и технические требования (работы в вытяжных радиохимических шкафах, боксах и др.).

При работе с радиоактивными веществами возможно также загрязнение ими рабочих поверхностей, а в отдельных случаях — рук и тела работающих. В результате этого загрязненные поверхности и тело могут стать потенциальными источниками облучения как внешнего, так и внутреннего.

Допустимые уровни загрязненных кожных покровов, средств индивидуальной защиты, поверхностей рабочих помещений, наружных частей оборудования установле-

ны санитарными правилами, в которых учтены опыт работы с радиоактивными веществами, степень герметизации процесса и т. д.

8.5. Защита от ионизирующих излучений

Условия безопасности при использовании радиоактивных изотопов в промышленности требуют проведения защитных мероприятий не только в отношении людей, непосредственно работающих с радиоактивными веществами, но и для находящихся в смежных помещениях, а также населения, живущего на близких расстояниях от предприятия.

Безопасность работающих с радиоактивными веществами обеспечивают путем установления ПДД облучения различными видами ионизирующих излучений, применения защиты временем, расстоянием, проведения общих мер защиты, использования средств индивидуальной защиты. Большое значение имеет применение приборов индивидуального и общего контроля для определения интенсивности радиоактивных облучений. Защита работающих с радиоактивными изотопами от ионизирующих облучений осуществляется системой организационных, технических, санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий.

Организационные меры заключаются в детальном анализе условий работы. Для проведения работ следует, по возможности, выбирать изотопы с меньшим периодом полураспада. Применение приборов большей точности также дает возможность применять изотопы с меньшей активностью. На предприятии составляются подробные инструкции, в которых указываются порядок и правила проведения работ, обеспечивающие безопасность. Специальные хранилища изотопов обеспечивают защиту от излучения. Открытые источники излучения и все облучаемые предметы должны находиться в строго ограниченной зоне, пребывание в которой персонала разрешается только в особых случаях и минимальное время. На контейнерах, оборудовании, дверях помещений и других объектах наносится предупредительный знак радиационной опасности. Предупреждение профессиональных заболеваний обеспечивается медицинским контролем за состоянием здоровья работающих.

Помещения, предназначенные для работы с радиоактивными изотопами, должны быть отдельными, изолированными от других помещений и специально оборудованными. Желательно в одном помещении проводить работу с веществами одной активности, что облегчает устройство защитных средств. Стены, потолки и двери делают гладкими, чтобы они не имели пор и трещин. Стены покрывают масляной краской на высоту 2 м, а при поступлении в воздушную среду помещения радиоактивных аэрозолей или паров как стены, так и потолки покрывают масляной краской полностью. В помещении необходимо предусматривать воздушное отопление. Обязательно устройство приточно-вытяжной вентиляции не менее чем с 5-кратным обменом воздуха. В рабочих помещениях ежедневно проводят влажную уборку для предотвращения накопления открытых радиоактивных загрязнений.

Перед началом работы с радиоактивными веществами тщательно проверяют действие вентиляции, состояние оборудования и средств индивидуальной защиты. Содержание помещений в чистоте, а оборудования в полной исправности является основным требованием при выполнении санитарно-гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий.

Технические меры защиты:

применение систем автоматизированного оборудования с дистанционным управлением, когда работающий в целях защиты (при использовании веществ большой активности) должен находиться на определенном расстоянии от места выполнения работы;

применение защитных экранов, позволяющее снизить облучение на рабочем месте до любого заданного уровня;

применение вытяжных шкафов, камер и боксов, оборудованных шпаговыми манипуляторами, и др.;

применение средств индивидуальной защиты.

Защиту от внешнего проникающего излучения осуществляют следующими способами: учетом фактора времени, изменением расстояния до источника радиации и экранированием. Продолжительность пребывания работника в опасной зоне не должна превышать времени, в течение которого он получает допустимую дозу. Интенсивность излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния до его источника. Соблюдая необходи-

мое расстояние, можно в ряде случаев избежать применения защитных экранов, которые обычно стесняют работающего.

Защитные экраны имеют разнообразную конструкцию и могут быть стационарными, передвижными, разборными, настольными. Стационарные экраны, являющиеся частью строительных конструкций, целесообразно изготовлять из бетона. Защитные экраны рассчитываются на основе законов ослабления излучений в веществе экрана.

Для защиты от альфа-излучения нет необходимости рассчитывать толщину экрана, поскольку слой воздуха в несколько сантиметров, одежда, резиновые перчатки являются достаточной защитой.

При защите от бета-излучений для экранов применяют материалы с небольшим атомным весом (алюминий, карболит, плексиглас). Толщину защитного экрана d_β, см, для бета-излучений рассчитывают по формуле

$$d_\beta = \frac{l_\beta}{\rho}, \qquad (57)$$

где l_β — длина пробега частиц, г/см^2 (1 г/см^2 характеризует слой вещества, имеющий массу 1 г при сечении 1 см^2); ρ — плотность вещества экрана, г/см^3.

Гамма-излучение лучше всего поглощается (ослабляется) материалами с большим атомным номером и высокой плотностью: свинцом, вольфрамом; пригодны по своим защитным свойствам и металлы средней плотности: чугун, нержавеющая сталь, медные сплавы. Рассчитать экран для защиты от гамма-излучений можно по формулам, справочникам и номограммам (рис. 19). При использовании номограммы определяют необходимую толщину экрана d, см, по оси абсцисс; по оси ординат откладывают величину кратности ослабления радиации K, вычисляемую по формуле

$$K = D_э/D_{э.з}, \text{ или } K = W_э/W_{э.з}, \qquad (58)$$

где $D_э$ и $W_э$ — соответственно экспозиционная доза и мощность экспозиционной дозы в данной точке при отсутствии защиты; $D_{э.з}$ и $W_{э.з}$ — то же, после устройства защиты толщиной d, см.

На практике пользуются также табличными данными для определения толщины защитного экрана.

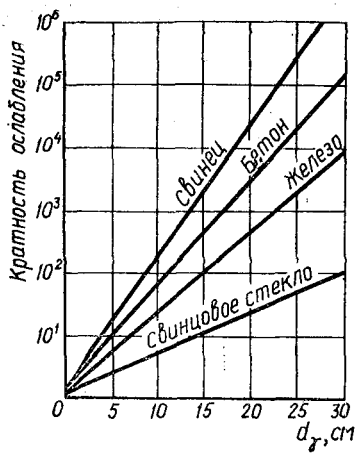


Рис. 19. Номограмма для расчета толщины защиты (экрана) от гамма-излучения радия (для бетона d_γ умножается на 4)

Для защиты от нейтронного излучения применяют материалы, содержащие водород (воду, парафин), а также бериллий, графит, бетон с соединениями бора (буру, колеманит и др.). Для комбинированной защиты от нейтронного и γ-излучения применяют слоевые экраны (свинец — полиэтилен, железо — вода и т. п.).

При эксплуатации рентгеновских установок должна быть обеспечена надежная защита как от прямых, так и от отраженных лучей. Рабочие помещения экранируют листовым свинцом, свинцовой резиной. Вентиляция в этих помещениях должна обеспечивать 3—5-кратный обмен воздуха.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) предохраняют от попадания радиоактивных загрязнений на кожу и внутрь организма, защищают от альфа- и бета-излучения. От гамма- и нейтронного излучений СИЗ, как правило, не защищают. В качестве спецодежды используются хлопчатобумажные халаты, шапочки, резиновые перчатки, поливинилхлоридные комбинезоны, ботинки, очки, респираторы.

8.6. Хранение, ликвидация отходов. Дозиметрический контроль

В лабораторных помещениях радиоактивные вещества должны находиться в количествах, не превышающих необходимых норм для суточной работы. При этом гамма-активные вещества хранятся в свинцовых контейнерах. Хранилища для них предусматриваются в виде колодцев или ниш. Извлечение препаратов из колодцев и ниш механизировано. Учет радиоактивных веществ предусматривает ежедневный контроль за их использованием. Выдачу из мест хранения на рабочие места производит

ответственное лицо только с разрешения руководителя, оформленного письменно. Расход радиоактивных веществ, а также возврат их в хранилища оформляют внутренними актами. Два раза в год комиссия, назначенная руководителем предприятия (организации), проверяет наличие радиоактивных веществ по величине активности. Перевозят вещества в специальных контейнерах на специально оборудованных машинах. При этом должна быть обеспечена защита от облучения людей.

Для захоронения радиоактивных отходов организуются специальные пункты, включающие бетонные могильники для твердых и жидких отходов, место для очистки машин и контейнеров, котельную, помещение для дежурного персонала с санпропускником, дозиметрический пункт и проходную. Пункт для захоронения радиоактивных отходов следует располагать на расстоянии не ближе 20 км от города с санитарно-защитной зоной не менее 1000 м до населенных пунктов и мест постоянного пребывания скота.

Дозиметрический контроль осуществляется с целью предупреждения работающих от переоблучения, своевременного выявления и устранения источников излучения и загрязнения воздуха радиоактивными веществами. Дозиметрический контроль может быть индивидуальным и общим.

Индивидуальный дозиметрический контроль заключается в том, что с помощью приборов карманного типа (индивидуальных дозиметров) систематически измеряется доза, получаемая человеком за определенный промежуток времени (в течение дня, недели и т. д.). На основании этих измерений можно судить о лучевом воздействии, которому подвергается каждый работник в отдельности, и в соответствии с этим принимать меры по улучшению безопасности при работе в полях излучений. В зависимости от метода регистрации излучений, на котором основан дозиметр, принято индивидуальный контроль доз подразделять на индивидуальный дозиметрический контроль ((ИДК) и индивидуальный фотометрический контроль (ИФК).

Индивидуальный контроль доз рентгеновского и гамма-излучений проводится с помощью приборов, напоминающих по форме авторучки. Прибор состоит из конденсаторной камеры, которую заряжают до потенциала U_1. В процессе работы камера, находящаяся в нагрудном

кармане костюма работающего, облучается гамма-излучением и вследствие ионизации воздуха в ней разряжается до потенциала U_2. В конце рабочего дня с помощью специального устройства по разности $\Delta U = U_1 - U_2$ (по градуированному графику) можно определить дозу, полученную камерой. Показывающие дозиметры — это камеры, внутри которых для измерений оставшегося заряда вмонтированы небольшие электрометры. Отклонение нити электрометра пропорционально накопившемуся на ней заряду (дозе). Шкала электрометра проградуирована в миллирентгенах.

Индивидуальный фотометрический контроль (ИФК) основан на способности ионизирующих излучений (так, же, как и видимого света) создавать скрытое изображение в фотоэмульсии. Фотопленки применяются для измерения доз рентгеновского и гамма-излучений.

Общий дозиметрический контроль заключается в периодической проверке надежности защитных ограждений и контроля загрязнений радиоактивными веществами кожных покровов тела работающих, одежды, обуви, оборудования, пола или стен, воздуха и т. п. Осуществляется этот контроль дозиметрическими приборами стационарного и переносного типов.

Учебно-поисковая задача

Перспективные пути защиты от радиации.

К 2000 г. около 50 % электроэнергии на нашей планете будут получать за счет ядерной энергии. В то же время продолжают накапливаться радиоактивные отходы, требующие надежного захоронения. Ядерные взрывы и промышленные радиоактивные источники вводят в окружающую среду стронций и другие радионуклиды. Пока доза радиации, получаемая населением от искусственно созданных человеком радиоактивных источников, остается ниже уровня естественного радиационного фона, складывающегося из ионизирующего излучения космических лучей, гамма-излучения Земли и газообразного радиоактивного элемента радона (они облучают человека снаружи). Изнутри это естественное излучение дополняется за счет таких радиоактивных изотопов, как калий-40, углерод-14 и др.

Искусственный радиационный фон, связанный с деятельностью человека, возрастает. Исследования показывают, что под действием радиации гены способны изменяться (мутировать). Факторы физической, химической и биологической природы, вызывающие генные изменения (мутации), называют *мутагенными*, или просто *мутагенами*. В клетке мутагены могут вызывать грубые повреждения хромосом (тяжелые заболевания, не поддающиеся лечению). Даже небольшие дозы облучения могут вызывать (индуцировать) мутации у человека. Так, доза

в 10 рентгенов может удваивать частоту мутаций у человека. Вот почему проблема развития атомной энергетики привлекает пристальное внимание специалистов-биологов и медиков.

В наши дни население и животный мир на некоторых территориях живут на фоне удвоенной дозы радиации.

В качестве коренных мер по защите от радиации можно назвать генетический мониторинг (длительные целенаправленные наблюдения за влиянием мутагенов среды), создание специальных лабораторий и др.

Необходимо дальнейшее развитие научно-организационных мероприятий и исследований по обеспечению радиационной безопасности.

Пример 6. Рассчитать безопасное расстояние R, м, на котором радиоактивное облучение соответствует предельно допустимому, если гамма-эквивалент изотопа $M = 200$ мг-экв радия, время облучения $t = 12$ с.

Решение 1. Определяем из таблицы предельно допустимую дозу (ПДД)

$$Д_{ПДД} = 0{,}1 \text{ Р/нед.}$$

2. Определяем безопасное расстояние из выражения $Д_{п.\,д} = \frac{QK_\gamma t}{R^2 \cdot 10^4}$, где $Q = \frac{8{,}4\ M}{K_\gamma}$, то есть $Д_{п.\,д} = \frac{8{,}4\ Mt}{R^2 \cdot 10^4}$, откуда $R = \sqrt{\frac{8{,}4\ Mt}{Д_{п.\,д} \cdot 10^4}} = \sqrt{\frac{8{,}4 \cdot 200 \cdot 12}{0{,}1 \cdot 10^4}} \approx 4{,}5$ м.

Раздел III

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Глава 9

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ МАШИН, МЕХАНИЗМОВ, ЭНЕРГОСИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА

9.1. Общие требования безопасности к производственным процессам, оборудованию и средствам защиты

Одна из важнейших задач охраны труда — обеспечение безопасности работающих, то есть обеспечение такого состояния условий труда, при котором исключено воздействие на работающих опасных и вредных производственных факторов. Нанесение травмы человеку в условиях производства обусловлено наличием физических и химических опасных производственных факторов. *Физические факторы* — это движущиеся машины и элементы оборудования, изделия, материалы; повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования или материалов; опасное напряжение электрических сетей; энергия сжатого воздуха, газа и др.

Химические факторы — это воздействие на человека ядовитых, едких и раздражающих веществ.

Травмирование работающего возможно как при непосредственном соприкосновении с источником опасности, так и на некотором расстоянии от него, при недопустимом сближении.

Пространство, в котором постоянно действует или периодически возникает производственный фактор, опасный для жизни и здоровья человека, называется *опасной зоной*. Размеры опасных зон могут быть постоянными и переменными в пространстве.

Средства защиты работающих по характеру их применения делятся на две категории: коллективные (для двух и более работающих) и индивидуальные. Общие требования к средствам защиты: сочетание защитных функций с обеспечением оптимальных условий для трудовой деятельности; высокая степень защитной эффек-

тивности; надежность и удобство обслуживания машин и механизмов; учет индивидуальных особенностей оборудования. На производстве применяются следующие технические средства обеспечения безопасности труда: оградительные устройства (ограждения), создающие преграду между человеком и опасным фактором, надежно предохраняющие работающего независимо от правильности или неправильности его действий; предохранительные устройства на случай аварийных режимов — отключение оборудования при нарушении контролируемого параметра (температуры, давления, перемещения, величины тока или напряжения, усилия); тормозные устройства — для быстрой остановки движущихся частей машин и оборудования; блокировочные устройства, обеспечивающие фиксацию частей механизма в определенном состоянии; сигнализация о наступающей или наступившей опасности (световая, звуковая, цветная и знаковая).

Безопасность производственных процессов обеспечивается комплексом проектных и организационных решений, заключающихся в соответствующем выборе технологических процессов, рабочих операций, порядка обслуживания оборудования и т. п. Большое значение имеет правильное распределение функций между человеком и машиной в целях уменьшения тяжести труда.

Важную роль играет применение комплексной механизации, автоматизации и дистанционного управления в тех случаях, когда действие опасных и вредных производственных факторов невозможно устранить.

Безопасность производственного оборудования обеспечивается: правильным выбором принципов действия, конструктивных схем, материалов, рабочих процессов; максимальным использованием средств механизации, автоматизации, дистанционного управления; включением требований в техническую документацию по монтажу, эксплуатации, ремонту, транспортированию и хранению.

С точки зрения охраны труда основными требованиями к оборудованию являются: безопасность для здоровья и жизни людей, надежность и удобство в эксплуатации. При проектировании машин и механизмов обязательно учитывают эргономические требования: размещение органов управления на рабочем месте, усилия для привода органов управления и т. д.

9.2. Требования безопасности при эксплуатации погрузочно-разгрузочных машин и механизмов

На предприятиях широко используется подъемно-транспортная техника: мостовые и козловые краны, автопогрузчики, лифты, конвейеры, тали, лебедки, мототележки, блоки, домкраты.

Безопасность труда при подъеме и перемещении грузов в значительной степени зависит от конструктивных особенностей подъемно-транспортных машин и соответствия их правилам и нормам Госгортехнадзора СССР. Все части, детали и вспомогательные приспособления подъемных механизмов в отношении изготовления, материалов, качества сварки, прочности, устройства, установки, эксплуатации должны удовлетворять соответствующим техническим условиям, стандартам, нормам и правилам. При эксплуатации подъемно-транспортных машин следует ограждать все доступные движущиеся или вращающиеся части механизмов. Необходимо исключить непредусмотренный контакт работающих с перемещаемыми грузами и самими механизмами при их передвижении, а также обеспечить надежную прочность механизмов, вспомогательных и строповочных приспособлений.

Для обеспечения безопасности при эксплуатации грузоподъемных машин служат предохранительные приспособления и устройства: тормоза, ограничители хода и подъема, блокировки, звуковой сигнал и др.

На предприятиях должен быть обеспечен постоянный надзор за состоянием грузоподъемных устройств, канатов, цепей, сменных грузозахватных органов, тары, уходом за ними и безопасностью эксплуатации в соответствии с правилами.

Вновь установленные грузоподъемные машины должны быть подвергнуты полному техническому освидетельствованию, а находящиеся в работе — частичному (не реже одного раза в год) и полному (не реже одного раза в три года). Возможно внеочередное полное техническое освидетельствование (после монтажа на новом месте, реконструкции и ремонте элементов, смены крюка). При полном техническом освидетельствовании машина должна подвергаться осмотру, статическому и динамическому испытанию. При частичном освидетельствовании статические и динамические испытания не проводятся. Осмотр

сопровождается проверкой работы механизмов и электрооборудования, тормозов и аппаратуры управления, освещения и сигнализации, приборов безопасности и регламентируемых габаритов. Цель статических испытаний — проверка прочности металлических конструкций грузоподъемных машин и устойчивости против опрокидывания (для стреловых кранов). Статические испытания кранов производят нагрузкой, превышающей на 25 % его грузоподъемность. При этом поднимают груз мостовым краном на высоту 200—300 мм, стреловым — на 100—200 мм с последующей выдержкой в таком положении в течение 10 мин, после чего опускают груз и проверяют наличие или отсутствие остаточной деформации моста крана (трещины и др.). Динамическое испытание производится грузом, превышающим на 10 % грузоподъемность машины, с целью проверки действия механизмов машины и их тормозов. Динамическое испытание допускается производить рабочим грузом (подъем и опускание груза).

При техническом освидетельствовании стальные канаты (тросы) бракуют по числу обрывов проволок на длине одного шага свивки каната, при этом учитываются их конструкция, степень износа или коррозии, назначение, соотношение диаметра блока, огибаемого канатом, к диаметру последнего. При обнаружении оборванной пряди канат бракуется.

Грузозахватные приспособления (стропы, траверсы и др.) и тару до пуска в работу подвергают осмотру, причем первые, кроме того, испытываются нагрузкой, на 25 % превышающей их нормальную грузоподъемность (в течение 10 мин). В процессе эксплуатации ответственное лицо осматривает траверсы через каждые 6 месяцев, стропы и тару — через 10 дней, другие захваты — не реже одного раза в месяц. Результаты осмотра заносят в журнал учета и осмотра грузоподъемных приспособлений.

К грузоподъемным машинам относятся электрические грузовые и пассажирские лифты — транспортные устройства прерывного действия, предназначенные для подъема и спуска людей (груза) с одного уровня на другой, кабина которого перемещается по жестким вертикальным направляющим в специальной шахте. Пассажирские лифты испытываются нагрузкой $2P_{\text{пред}}$, грузовые — $1{,}5P_{\text{пред}}$ ($P_{\text{пред}}$ — максимальная рабочая нагрузка).

При искусственном обрыве троса испытывается надежность работы ловителей — измеряется расстояние, которое при этом проходит лифт до полной остановки, и сравнивается с нормативной величиной.

На каждом грузоподъемном механизме обозначаются предельно допустимая нагрузка и дата следующего испытания. С просроченной датой испытания эксплуатация грузоподъемного механизма запрещается.

Погрузочно-разгрузочные, складские и транспортные работы с сырьем, полуфабрикатами, готовой продукцией, тарой и другими штучными грузами наиболее трудоемки. Значительная часть погрузочно-разгрузочных работ на предприятиях различных отраслей народного хозяйства выполняется вручную из-за того, что механизация подъемно-транспортных работ еще отстает от механизации основных технологических операций.

Анализ травматизма показывает, что несчастные случаи в основном происходят из-за неудовлетворительного обучения рабочих безопасным методам труда, отсутствия надзора за рабочими во время работы, нарушения правил по технике безопасности со стороны рабочих и ИТР.

Механизация основных и вспомогательных операций по подъему и транспортированию, загрузке и разгрузке сырьевых материалов и готовой продукции способствует созданию безопасных условий труда на производстве.

На предприятиях широко применяются транспортные средства: железнодорожные, автомобильные, электро- и автопогрузчики, конвейеры, к которым предъявляются определенные требования для обеспечения их безопасной эксплуатации.

Для обеспечения безопасности движения внутризаводского транспорта необходимо четко разграничить движение транспорта и пешеходов, установить соответствующие знаки. Скорость движения колесного транспорта на прямых участках дорог не должна превышать 10 км/ч, а в местах сужения их — 5 км/ч; внутри цехов и складов по главным проходам — 5 км/ч, а в узких местах — 3 км/ч.

Условия безопасного обслуживания подъемно-транспортных машин и механизмов проверяются расчетами надежности отдельных узлов и элементов.

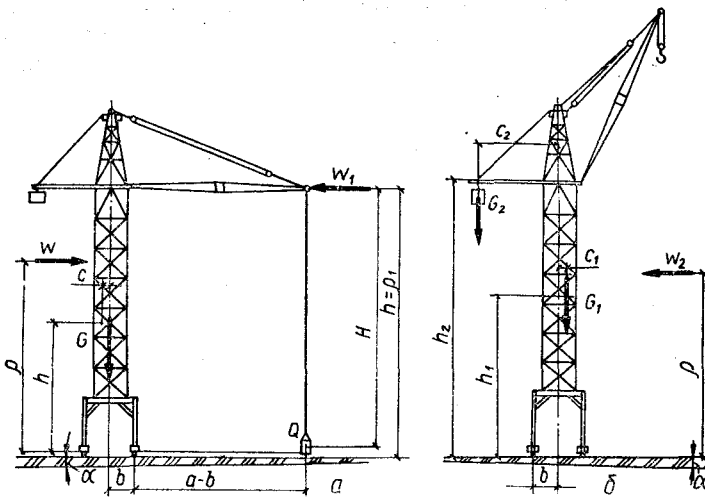


Рис. 20. Расчетная схема устойчивости башенного крана:
а — с грузом; *б* — без груза

Возможность использования каната в конкретных условиях проверяют по коэффициенту запаса прочности $K_п$ из выражения

$$P/S \geqslant K_п, \qquad (59)$$

где P — действительное разрывное усилие каната по паспорту-сертификату, Н; S — наибольшее натяжение ветви каната, Н; $K_п$ по правилам Госгортехнадзора при подъеме груза должен быть 4,5—6, а при подъеме людей 9.

Грузовая устойчивость крана от действия полезных нагрузок при возможном опрокидывании его вперед (в сторону стрелы и груза) обеспечивается в том случае, если выполняется неравенство

$$K_1 M_г \leqslant M_п, \text{ или } K_1 \leqslant M_п/M_г, \qquad (60)$$

где K_1 — коэффициент грузовой устойчивости, принимаемый для горизонтального пути без учета дополнительных нагрузок равным 1,4, а при наличии ветра, инерционных сил, влияния наибольшего допустимого уклона пути — 1,15; $M_г$ — момент, создаваемый рабочим грузом относительно ребра опрокидывания, кНм; $M_п$ — момент всех прочих нагрузок, действующих относительно того же ребра (удерживающий момент).

Для определения коэффициента грузовой устойчивости рекомендуется использовать следующую формулу (рис. 20):

$$K_1 = \left\{G[(b+c)\cos\alpha - h\sin\alpha] - \frac{Qn^2lh_1}{900 - n^2H} - \right.$$
$$- \frac{QV}{gt} m - Wh - W_1h_1 -$$
$$\left. - \frac{(Gh + Qh_1)V_1}{gt_1} \Big/ (Qm)\right\} \geqslant 1{,}15. \qquad (61)$$

Собственную устойчивость крана определяют при отсутствии полезных нагрузок и возможном опрокидывании назад в сторону противовеса. Коэффициент собственной устойчивости крана

$$K_2 = \frac{G[(b+c)\cos\alpha - h\sin\alpha]}{W_2h_2} \geqslant 1{,}15. \qquad (62)$$

В этих формулах использованы следующие обозначения: G — вес крана, кН; c — расстояние от плоскости, проходящей через ось вращения крана параллельно ребру опрокидывания, до центра тяжести крана, м; h — расстояние от центра тяжести крана до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м; Q — вес наибольшего груза, кН; n — частота вращения крана, об/мин; l — расстояние от оси вращения крана до центра тяжести подвешенного груза при установке крана на горизонтальной поверхности, м; h_1 — расстояние от головки стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура, м; H — расстояние от головки стрелы до центра тяжести подвешенного груза, м; V — скорость подъема груза, м/с; t — время неустановившегося режима работы механизма подъема, с; t_1 — то же, механизма передвижения, с; V_1 — скорость передвижения крана, м/с; m — расстояние от центра тяжести подвешенного наибольшего груза при установке крана на горизонтальной плоскости до ребра опрокидывания, м; W — сила давления ветра на кран, Н; W_1 — то же, на подветренную площадь груза, Н; W_2 — сила давления ветра, действующая перпендикулярно ребру опрокидывания и параллельно плоскости, на которой установлен кран, Н; h_2 — расстояние от плоскости, проходящей через точки опорного контура, до центра приложения ветровой нагрузки, м; α — угол наклона крана (пути).

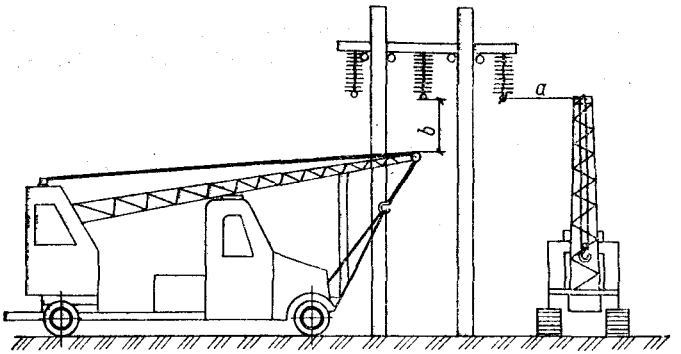


Рис. 21. Допустимые расстояния от грузоподъемных машин до проводов линий электропередачи:

а — по горизонтали (при напряжении до 1 кВ a=1,5 м, при 1—20 кВ a=2 м, при 35—110 кВ a=4 м, при 150—220 кВ a=5 м, при 220—330 кВ a=6 м; при 330—500 кВ a=9 м); *б* — по вертикали (при напряжении до 1 кВ b=1 м, при 1—20 кВ b=2 м, при 35—110 кВ b=3 м, при 150—220 кВ b=4 м, при 220—330 кВ b=5 м, при 330—500 кВ b=6 м)

Особую опасность поражения людей электрическим током представляет пользование стреловыми кранами, телескопическими вышками и другими механизмами и машинами вблизи проводов воздушных линий (ВЛ) и открытых распределительных устройств подстанций в случае замыкания электроустановок на землю через корпуса этих машин. Такое замыкание может быть не только при касании к токоведущим частям, но и через искровой промежуток при приближении к токоведущим частям. Работа стрелового крана на расстоянии ближе 30 м от крайнего провода ВЛ в охранной зоне разрешается только по специальному наряду-допуску. Охранные зоны ВЛ определяются двумя параллельными вертикальными плоскостями, отстоящими от крайних проводов линии на расстоянии: для 1—20 кВ — 10 м; для 35 кВ — 15 м; для 110 кВ — 20 м; для 220 кВ — 25 м; для 500 кВ — 30 м; для 750 кВ — 40 м.

Работа машин в охранной зоне ВЛ, как правило, производится при полностью снятом напряжении организацией, эксплуатирующей данную линию. Допустимые расстояния от грузоподъемных машин до проводов ЛЭП приведены на рис. 21.

9.3. Безопасность сосудов, аппаратов, систем и оборудования с избыточным давлением

На производственных предприятиях широко применяются сосуды и коммуникации, работающие под давлением. К установкам, работающим под давлением, относят паровые и водогрейные котлы, компрессоры, ацетиленовые генераторы, газовые баллоны (для сжатых, сжиженных и растворенных газов), газобаллонные установки для автомобилей, паропроводы, автоклавы и др.

По Правилам Госгортехнадзора сосуды, работающие под давлением свыше 70 кПа, паровые котлы с рабочим давлением свыше 70 кПа, водогрейные котлы с температурой подогрева воды свыше 115 °С, паропроводы с рабочим давлением свыше 200 кПа, трубопроводы горячей воды с температурой свыше 120 °С, сосуды, для которых произведение емкости в литрах на рабочее давление в МПа превышает 20 (за исключением сосудов емкостью до 25 л), сосуды, работающие под давлением едких, ядовитых и взрывоопасных сред, для которых произведение вместимости в литрах на давление в МПа превышает 50, подлежат контролю инспекции Госгортехнадзора, которая выдает разрешение на пуск их в эксплуатацию и осуществляет постоянный надзор за ними в процессе эксплуатации.

Все остальные сосуды и баллоны подлежат контролю администрации предприятия (правила Госгортехнадзора на них не распространяются). Не регистрируются в органах Госгортехнадзора также баллоны для транспортирования и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов вместимостью до 100 л.

Сосуд, работающий под давлением, представляет собой герметически закрытую емкость, предназначенную для ведения химических или тепловых процессов, а также для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением. Границей сосуда являются входные и выходные штуцера.

Госгортехнадзором СССР утверждены Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, в которых определены требования к устройству, изготовлению, монтажу, ремонту и эксплуатации сосудов. При нарушении этих правил возможен взрыв, в результате которого взрывной волной могут быть разрушены оборудование, здания и сооружения.

При этом возникает серьезная опасность травмирования людей отлетающими частями разорвавшегося сосуда, отравления выделившимися вредными веществами, а также поражения пламенем, горючими газами, паром, жидкостями. Причины взрыва весьма разнообразны: недостаточная механическая прочность аппаратов и сосудов, сильный удар по ним или толчок, повышение давления (выше рабочего) внутри сосуда, электростатический разряд (возникающий при истечении газов— трении частиц газа), соприкосновение с искрой или открытым пламенем и др. Причинами взрыва в стационарных сосудах могут быть нарушение технологического процесса, неисправность арматуры и приборов, коррозия.

Взрыв котла может произойти в результате: понижения уровня воды в котле (аварийного режима «упуск воды»); повышения давления пара сверх предельного; нарушения целостности шва; неправильной эксплуатации (несвоевременного золо- и шлакоудаления, накипи на стенках котла) и др.

Взрывы компрессоров могут быть вызваны: повышением температуры сжатого воздуха в компрессоре сверх установленной; недоброкачественной смазкой; образованием в сжатом воздухе взрывоопасных смесей; повышением давления сжатого воздуха в компрессоре или воздухосборнике выше допустимого; искрообразованием в среде взрывоопасных смесей; гидравлическими ударами и др.

Причины взрывов газовых баллонов: падение баллонов и удары их о твердые предметы при небрежном транспортировании или переноске; расширение газа в результате перегрева поверхности баллонов солнечными лучами, открытым огнем; вырывание вентиля из горловины баллонов давлением газа при дефектах нарезки у вентиля или баллона; загрязнение горловины кислородных баллонов маслами или жирами, накопление окалины, что может привести к воспламенению и взрыву (может произойти взрыв автоклава, выброс пара или горячей воды из трубопровода и т. п.).

Правила запрещают устанавливать котлы в школах, клубах, банях и т. п., а также в зданиях, примыкающих к складу горючих материалов (за исключением складов топлива для самой котельной). Для удобного и безопасного обслуживания котла и его арматуры должны быть установлены постоянные лестницы с перилами (при вы-

соте лестницы более 1,5 м угол наклона ее к горизонтали не должен превышать 50°). Если расход твердого топлива превышает 1000 кг/ч, подача топлива должна быть механизирована. Расходные баки для жидкого топлива должны устанавливаться вне котельной. Допускается хранение жидкого топлива в котельной в количестве, не превышающем суточный расход. В котельной должно быть аварийное освещение. Особые требования для котлов, работающих на газе, предъявляются к качеству подготовки воды и своевременной чистке котла. Даже небольшой слой накипи на внутренних поверхностях может привести к сильному нагреву труб с последующим взрывом котла.

Для предупреждения взрывов сосудов, работающих под давлением, на них устанавливают специальные контрольно-измерительные приборы и арматуру: указатели уровня воды в котлах (водоуказательные приборы), манометры для определения давления внутри сосуда, предохранительные клапаны для автоматического открывания и выпуска излишнего пара или сжатого воздуха, а также питательную, запорную, продувную и прочую арматуру (вентили, задвижки, клапаны).

В процессе эксплуатации и после установки Госгортехнадзор осуществляет проверку сосудов в установленные сроки.

Техническое освидетельствование парового котла заключается во внутреннем осмотре, проводимом не реже одного раза в 4 года, и гидравлическом испытании, проводимом не реже одного раза в 8 лет; сосуда — во внутреннем осмотре и гидравлическом испытании в те же сроки; баллонов (за исключением баллонов для ацетилена) — во внутреннем и наружном осмотре поверхности, в проверке массы и емкости и гидравлическом испытании (освидетельствование не реже одного раза в 5 лет производит завод, наполняющий их газами). Состояние пористой массы в баллонах для ацетилена проверяют не реже чем через каждые 12 месяцев. Баллоны испытывают при давлении, превышающем рабочее в 1,5 раза.

При осмотре котла или компрессора проверяются состояние и прочность стенок, швов, труб (внутри котла), работоспособность приборов.

Паровые и водогрейные котлы и сосуды подвергаются гидравлическим испытаниям: при рабочем давлении до

500 кПа их испытывают давлением 1,5 $P_{раб}$ (но не менее 200 кПа); при $P_{раб} > 500$ кПа — 1,25 $P_{раб}$ (но не менее 300 кПа). Давление увеличивают до предельного (затем снижают до рабочего) медленно и постепенно. Предельное давление выдерживают в течение 5 мин. Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружат в нем течи или потения, признаков разрыва стенок и других деформаций.

Трубопроводы для пара и горячей воды подвергаются гидравлическому испытанию в собранном виде давлением, превышающим на 25 % рабочее давление, перед вводом в эксплуатацию и после ремонта.

Во избежание ошибок при заполнении газом все баллоны окрашиваются в определенные, присвоенные каждому газу, цвета с надписями и полосами: кислородные баллоны — голубой краской; ацетиленовые — белой краской и т. п. Для предупреждения недопустимого ошибочного смешения горючих и негорючих газов боковой штуцер на баллонах для кислорода и инертных газов имеет правую резьбу, а на баллонах для горючих газов, образующих с воздухом взрывоопасные смеси, левую резьбу. Наполненные газом баллоны прочно закрепляются на специальных стойках. Баллоны следует предохранять от нагревания солнечными лучами и другими источниками тепла. Расстояние от баллона до батарей отопления должно быть не менее 1 м, а от открытых источников тепла (печи, горелки и др.) — не менее 5 м. В баллонах со сжатыми газами после их использования должно сохраняться остаточное давление не менее 50 кПа, которое необходимо для проверки исправности и герметичности арматуры. Переносить баллоны на руках запрещается (только на носилках или специальных тележках).

Особые требования предъявляются Правилами к контрольно-измерительным приборам и устройствам. Так, манометры периодически проверяют (не реже чем через 12 месяцев) и пломбируют. Предельное рабочее давление в сосуде отмечается на шкале манометра красной чертой (переход стрелки манометра за красную черту сигнализирует об аварийном режиме). Предохранительные клапаны настраивают обычно для защиты котлов, компрессоров от превышения в них давления свыше 10 % расчетного. Термометры или термопары для измерения температуры контролируемой среды устанавливают на

сосудах, работающих при изменяющейся температуре стенок.

Все сосуды, как регистрируемые, так и не регистрируемые в органах Госгортехнадзора, учитываются владельцами в специальной книге.

9.4. Техника безопасности при электро- и газосварочных работах

Причинами несчастных случаев при производстве электро- и газосварочных работ могут быть поражение электрическим током, воздействие лучей электрической дуги на глаза, ожоги от непосредственного действия дуги и брызг расплавленного металла и шлака, отравление вредными газами, взрывы сосудов и взрывоопасных веществ.

Сварочный агрегат обычно состоит из понизительного трансформатора, дросселя с переменным индуктивным сопротивлением (для регулирования величины сварочного тока) и проводов, подключаемых к электрододержателю и свариваемому изделию. Первичная обмотка сварочного трансформатора включается в сеть переменного тока (220 или 380 В), а вторичная обмотка (на напряжение 65—110 В) коротко замыкается электродом на изделие. Применяются также сварочные аппараты постоянного тока.

Прежде чем приступить к электросварочным работам, нужно надежно заземлить сварочный аппарат. Корпуса сварочных агрегатов, свариваемые изделия и конструкции заземляют медными или алюминиевыми проводниками. Незаземленный корпус агрегата считается под напряжением, поэтому его опасно касаться. Для заземления используют в первую очередь различные конструкции зданий и сооружений, а также трубопроводы, имеющие надежное соединение с землей. Запрещается использовать для заземления трубопроводы с горючими жидкостями или газами. Рекомендуется применять сварочные провода длиной не более 10 м в резиновом шланге.

Сварочные агрегаты включают в сеть при помощи закрытых рубильников. После окончания работы, а также при временном уходе с рабочего места рубильник выключают.

Перед началом сварочных работ обязательно должны быть проверены: исправность заземления, сварочного

трансформатора, дросселя, состояние изоляции проводов, электрододержателя. Электрододержатель должен быть заводского изготовления и удовлетворять требованиям безопасности труда: хорошая изоляция рукоятки, упорное кольцо, исключающее касание к электроду. Профилактические испытания сварочных агрегатов проводятся не реже одного раза в месяц и включают в себя осмотр и чистку контактов, измерение сопротивления изоляции обмоток, проводов и др. В качестве защитных средств применяются спецодежда, спецобувь, щитки и защитные очки со светофильтрами, брезентовые рукавицы. При работе внутри котлов и резервуаров пользуются диэлектрическими перчатками, галошами, ковриком, шлемом. Эти работы выполняются по наряду-допуску двумя рабочими, один из которых находится снаружи емкости, удерживая канат, прикрепленный к предохранительному поясу сварщика внутри емкости. При этом переносный светильник внутри емкости должен иметь питающее напряжение не выше 12 В.

Одной из опасных операций при электросварке является смена электрода. Меняя электрод, сварщик касается только одного полюса рукой, но может случайно коснуться и второго, то есть оказаться под напряжением холостого хода — порядка 65—70 В (при сварке напряжение сварочной цепи определяется длиной дуги и составляет 15—30 В). Поэтому, согласно ПУЭ, при производстве электросварочных работ в местах повышенной опасности (токопроводящий пол, большая влажность и др.) требуется применение аппаратуры автоматического отключения холостого хода сварочного аппарата. Заводами выпускается несколько модификаций такой аппаратуры на контактных и бесконтактных схемах, которые обеспечивают автоматическое отключение сварочного трансформатора при разрыве дуги (рис. 22).

На сварочном участке цеха должны быть обеспечены проходы и проезды шириной соответственно 1—1,5 и 2,5 м. Высота сварочного помещения должна быть 4,5—6 м с общеобменной приточно-вытяжной и местной вытяжной вентиляцией. Температура в помещении должна быть не ниже $+12 - +15$ °С. Сварочные работы должны выполняться в специальных кабинах размерами от 1,5 × 1,5 до 2,5 × 2,5 м, с площадью не менее 3 м^2. Высота стен кабины 1,8 м; полы из кирпича или бетона. Стол электросварщика покрывают стальной или чугун-

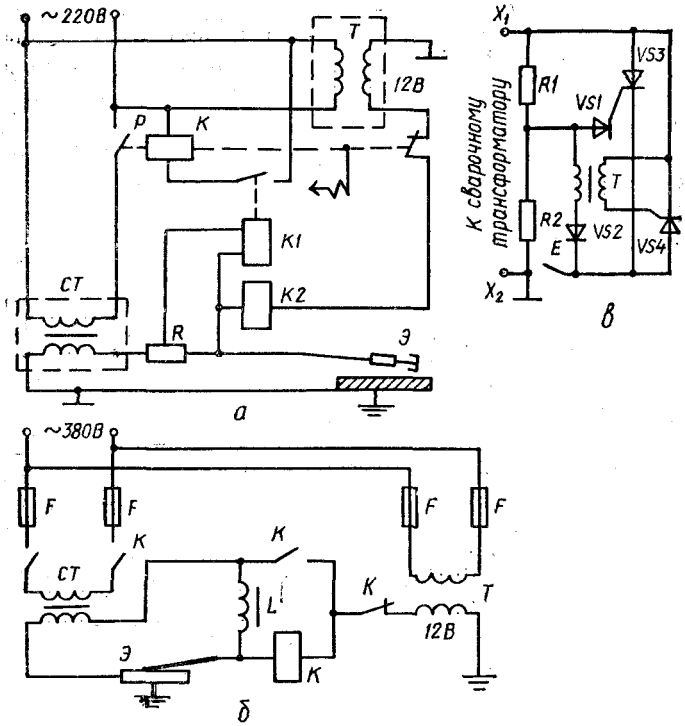


Рис. 22. Схема устройства автоматического включения и отключения сварочного аппарата:

а — системы ХИОТ; *б* — контактная схема; *в* — бесконтактная схема; СТ — сварочный трансформатор; Т — трансформатор (12—24 В); К — контактор; VS1, VS2, VS3, VS4 — тиристоры; R1, R2 — резисторы; Е — контакт электрода со свариваемой деталью

ной плитой; расстояние между столом и стеной кабины не менее 0,8 м. При работе на открытом воздухе должны быть предусмотрены для защиты от осадков и солнца палатки, зонты или навесы из огнестойких тканей, а для защиты от излучений дуги — ширмы высотой не менее 1,2 м. К электросварочным работам допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие обучение и проверку знаний (с квалификационной группой по ТБ не ниже II).

В качестве горючих газов при газосварке и резке металлов применяют ацетилен, водород, природный газ, нефтяные газы. Ацетилен является взрывоопасным газом, а поэтому его применение требует строгого соблюдения правил. Карбид кальция перевозят и хранят в гер-

мети чески закрытых барабанах, отдельно от кислородных баллонов. Необходимо исключить опасность попадания в них влаги. К сварочным постам кислород доставляется в баллонах под давлением 15 МПа, а в горелку он поступает по шлангам , где смешивается с ацетиленом. Чтобы предотвратить образование взрывной смеси ацетилена с воздухом, необходимо произвести предварительную продувку кислородом (при зажигании сначала открывают кислородный кран, а затем ацетиленовый).

Помещения газосварочных отделений должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, а каждый сварочный пост — местными отсосами. Ацетиленовые генераторы устанавливают только в отдельных помещениях из несгораемого материала.

Работать необходимо в защитных очках, кожаных рукавицах, прорезиненных фартуках. Расстояние от генератора до места сварки и других источников огня должно быть не менее 10 м. В помещении, где ведутся работы, разрешается устанавливать генераторы лишь в том случае, если объем помещения не менее 300 м^3.

9.5. Промышленные роботы (ПР) и безопасность труда

В период НТП актуальна задача всемерного ускорения темпов механизации и автоматизации производственных процессов, внедрения промышленных роботов и роботизированных технологических комплексов. Для механической обработки деталей широко используются станки с числовым программным управлением (ЧПУ) и обрабатывающие центры, оснащенные устройствами для смены режущего инструмента. Для загрузки и выгрузки заготовок используются промышленные роботы. В пределах участков или цехов применяется роботизированный внутрицеховой транспорт для погрузочно-разгрузочных операций. Роботизация технологических процессов решает многие социально-экономические задачи, включая безопасность труда.

Функциональная и структурная схемы промышленного робота представлены на рис. 23. Конструктивно промышленный робот состоит из управляющего устройства (УУ), исполнительного устройства-манипулятора (М) (или нескольких манипуляторов) и устройства передвижения (УП) (для подвижного робота), измери-

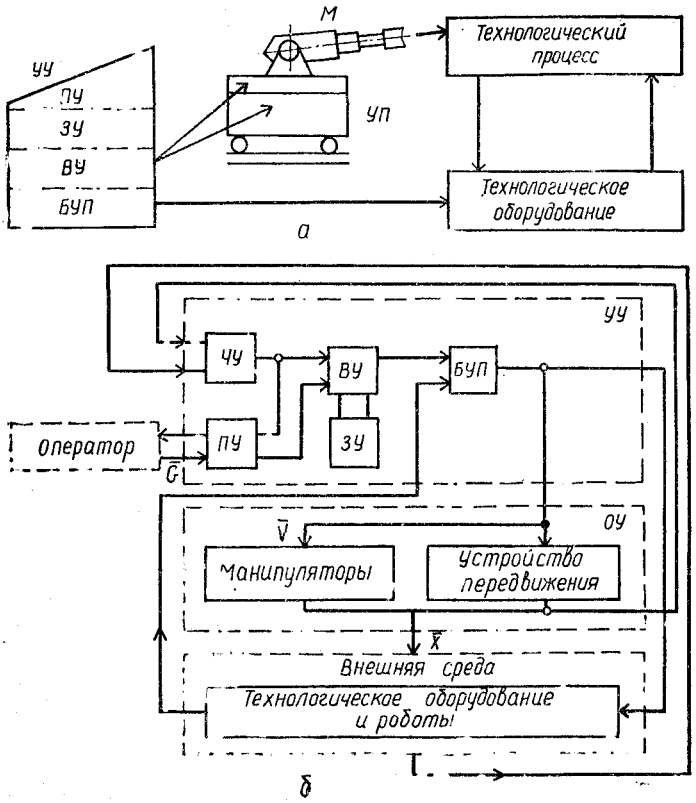


Рис. 23. Схема промышленного робота:
а — функциональная; *б* — структурная

тельного устройства и устройства внешних связей. Манипуляторы и устройства передвижения представляют собой объект управления (ОУ) для управляющего устройства. В управляющее устройство входят пульт управления (ПУ), запоминающее устройство (ЗУ) и вычислительное устройство (ВУ). С помощью ПУ оператор осуществляет ввод и контроль задания; в ЗУ хранятся программы работ, в ВУ реализуется алгоритм управления роботом; блок управления приводами (БУП) управляет приводами манипулятора и устройства передвижения. Промышленный робот оснащен комплексом чувствительных устройств (ЧУ) (датчиков), которые фиксируют его состояние (X) и состояние внешней среды. Задание на

работу ($\overline{G}$) вводится оператором в УУ, которое воздействует ($\overline{V}$) на двигатели манипулятора и устройства передвижения робота, а также осуществляет управляющее воздействие (через БУП) на технологическое оборудование, обслуживаемое роботом.

Промышленные роботы находят широкое применение в операциях перегрузки кинескопов в горячих зонах, для установки экранов в печь отжига, в производстве радиодеталей, укладке проводов в жгуты и т. п.

Эксплуатация автоматизированных производств связана с травматизмом, который чаще всего имеет место при ремонте и обслуживании линий. При этом непосредственной причиной несчастных случаев являются несовершенство средств защиты, недостатки в конструкциях транспортеров и т. д. Опасной является операция снятия готовых деталей с конвейеров.

Особое внимание в автоматизированных производствах, а также при использовании роботов и манипуляторов должно уделяться обеспечению безопасных условий труда при проведении ремонтных и наладочных работ, которые должны выполняться на обесточенном оборудовании. При этом должен быть обеспечен удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала к основному и вспомогательному оборудованию, промышленным роботам, органам аварийного отключения и управления. При планировке роботизированных участков необходимо исключать пересечение трасс следования оператора и исполнительных устройств роботов и обеспечивать свободу перемещения персонала, сведя к минимуму возможность появления посторонних лиц. Роботизированные участки необходимо ограждать и обозначать сигнальными цветами и знаками безопасности. Вход в зону ограждения следует блокировать с системой управления. Блокировка должна отключать промышленный робот, работающий в автоматическом режиме, при входе человека в зону ограждения. Высота ограждения (металлической сеткой с ячейками 60 × 60 мм) — 1,3 м от уровня пола, а расстояние от исполнительного устройства робота до ограждения — не менее 0,8 м.

Учебно-поисковая задача

Частные методы инженерной безопасности, применяемые на производстве.

Частные методы инженерной безопасности, используемые на практике, разнообразны. Приведем основные из них:

Метод	Применяется для защиты
Герметизация	От утечки газов и загрязнения ими атмосферы, а также от проникновения воздуха внутрь газовых устройств
Экранирование	От излучений (тепловых, ионизирующих и др.) и полей (электромагнитных и др.)
Теплоизоляция	От избыточного тепла
Звукоизоляция и звукопоглощение	От шума
Глушение	От шума
Виброизоляция и вибропоглощение	От вибраций
Амортизация и демпфирование	От вибраций
Ионизация воздуха	От статического электричества
Заземление, зануление	От воздействия электрического тока
Ограждение	От движущихся частей механизмов

Пример 7. Требуется оценить возможную опасную зону при работе крана КС-4561 на вылете $R = 11$ м при подъеме груза массой 2 т на высоту $h = 12$ м при угловой скорости вращения стрелы $\omega = 0{,}1\ с^{-1}$.

Решение. 1. Определяем отлет груза по формуле для компактного груза

$$S_1 = 0{,}32\omega R\sqrt{h} = 0{,}32 \cdot 0{,}1 \cdot 11\sqrt{12} = 1{,}2 \text{ м}.$$

Ветер и парусность груза могут значительно увеличивать отлет, что данной формулой не учитывается. Поэтому по СНиП III-4-80 (табл. 1.2) принимаем $S_н = 7$ м.

2. В зависимости от погодных условий и габаритов груза определяем опасную зону $S_{о.з}$, м:

для компактных грузов при безветренной погоде

$$S_{о.з} = R + S_1 = 11 + 1{,}2 = 12{,}2 \text{ м};$$

для плит и панелей высокой парусности при ветреной погоде

$$S_{о.з} = R + S_н = 11 + 7 = 18 \text{ м}.$$

Глава 10

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

10.1. Опасность поражения электрическим током

Электробезопасность — система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия элек-

трического тока. Опасность электрического тока в отличие от прочих опасностей усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно, а также быстротечностью поражения — опасность обнаруживается, когда человек уже поражен. Анализ смертельных несчастных случаев показывает, что на долю поражений электрическим током приходится на производстве до 40, в энергетике — до 60 %; бо́льшая часть поражений (до 80 %) происходит в электроустановках напряжением до 1000 В (110—380 В).

Проходя через живые ткани человека, электрический ток оказывает термическое (ожоги), электролитическое (электролиз) и биологическое воздействие. Различают также механические повреждения от воздействия электрического тока. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местное поражение тканей и органов, так и общее поражение организма. Различают два вида поражений электрическим током: местные электрические травмы (электротравмы) и электрический удар, которые резко отличаются друг от друга.

Электротравмами являются поражения тканей и органов электрическим током: ожоги, электрические знаки (метки), электрометаллизация кожи, электроофтальмия (от греческого слова «офтальмос» — глаз) и механические повреждения. Примерное распределение электротравматизма: общие электротравмы — 25 %, местные — 20 и смешанные травмы — 55 %. Часто эти виды электропоражений сопутствуют друг другу.

Электрические ожоги (контактные и дуговые) происходят при значительных токах (более 1 А) и занимают преобладающий удельный вес (около 65 %) среди местных электротравм. Контактные ожоги происходят при прикосновении к сильно нагретым частям электрооборудования. Наиболее часто происходят дуговые ожоги: в электроустановках напряжением до 1000 В при попадании человека в зону действия электрической дуги, возникающей между токоведущими частями; в электроустановках напряжением свыше 1000 В — при случайном приближении к токоведущим частям на опасное расстояние, меньшее или равное разрядному (сначала возникает искровой разряд, который переходит в электрическую дугу).

Электрические знаки (метки тока) возникают при хорошем контакте с токоведущими частями. Они представляют собой припухлость с затвердевшей в виде мозоли кожей желтовато-белого цвета круглой или овальной формы.

Электрометаллизация кожи — проникновение под поверхность кожи частиц металла вследствие разбрызгивания и испарения его под действием тока.

Электроофтальмия — поражение глаз вследствие воздействия ультрафиолетового излучения электрической дуги.

Механические повреждения (ушибы, переломы и т. п.) при падении с высоты вследствие резких непроизвольных движений или потери сознания, вызванных действием электрического тока.

Электрический удар наблюдается при воздействии малых токов (обычно несколько сотен миллиампер) и при напряжениях, как правило, до 1000 В. При этом происходит поражение внутренних органов — ток действует на нервную систему и на мышцы, причем может возникнуть паралич пораженных органов. Различают четыре группы электрических ударов: судорожное сокращение мышц (фибрилл) без потери сознания; судорожное сокращение мышц с потерей сознания; потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе); клиническая смерть (отсутствие дыхания и кровообращения).

Электрические удары представляют большую опасность (они вызывают 85—87 % смертельных поражений). Остановке сердца при поражении предшествует так называемое фибрилляционное состояние. Фибрилляция сердца заключается в беспорядочном сокращении и расслаблении мышечных волокон (фибрилл) сердца. Электрический ток, вызывающий такое состояние, называется *пороговым фибрилляционным током*. При переменном токе он находится в пределах 100 мА — 5 А, при постоянном токе — 300 мА — 5 А. При токе более 5 А происходит немедленная остановка сердца, минуя состояние фибрилляции. Если через сердце пострадавшего пропустить кратковременно (доли секунды) ток 4—6 А, мышцы сердца сокращаются и после отключения тока сердце продолжает работать. На этом принципе основано действие дефибриллятора — прибора для восстановления работы сердца, остановившегося или находящегося в состоянии фибрилляции.

Таким образом, при остановке и фибрилляции сердца работа его самостоятельно не восстанавливается, поэтому необходимо оказание первой (доврачебной) помощи в виде искусственного дыхания и непрямого массажа сердца. Как известно, в состоянии клинической смерти человек может находиться в течение 3—5 мин. Если за данный промежуток времени человеку не оказывается помощь, клиническая (мнимая) смерть переходит в биологическую (истинную) смерть — необратимый процесс отмирания клеток.

При поражении электрическим током прежде всего необходимо оказать потерпевшему *первую (доврачебную) помощь*: освободить его от действия тока, а затем, до прибытия врача, оказать первую медицинскую помощь. Для освобождения от тока необходимо быстро выключить токоведущие части или провода, которых он касается, или оттянуть его от проводов, перерезать или перерубить провода инструментом с изолированными ручками. Чтобы самому не попасть под напряжение, надо одеть резиновые перчатки или галоши, обернуть руку сухой тканью, а под ноги подложить сухую доску, сверток одежды и т. п.

Если потерпевший подает признаки жизни (дыхание, сердцебиение, пульс) или без сознания, необходимо расстегнуть одежду, согреть тело, сбрызнуть водой. При прекращении дыхания и остановке сердца необходимо делать искусственное дыхание «рот в рот» или «рот в нос» и непрямой (закрытый) массаж сердца. При этом нужно за 1 мин провести 48—50 сжиманий груди и 10—12 вдуваний воздуха в легкие.

Искусственное дыхание необходимо также делать и при других несчастных случаях — отравлениях угарным газом, тепловом ударе. Оказание первой помощи в основном заключается в немедленном прекращении действия травмирующего фактора, временной остановке кровотечения, искусственной вентиляции легких с непрямым массажем сердца и доставке пострадавшего в медпункт.

10.2. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

На основании анализа несчастных случаев и длительного опыта эксплуатации электроустановок различают следующие факторы, от которых зависит в основном исход поражения электрическим током:

1. Значение электрического тока — главный поражающий фактор при электротравмах. При этом выделяют следующие пороговые значения тока:

порог ощущения тока — наименьший ощутимый ток (0,5—1,5 мА переменного тока и 5—7 мА постоянного тока);

порог *неотпускающего тока* — наименьший ток, при котором человек уже не может самостоятельно освободиться от захваченных электродов действием тех мышц, через которые проходит ток (10—15 мА переменного тока и 50—80 мА постоянного тока). Меньшие токи называются *отпускающими*. В качестве длительно допустимого тока принимают 10 мА; смертельный ток (100 мА и более).

Опасность поражения тем больше, чем бóльший ток протекает через человека, но эта зависимость не однозначна, так как опасность поражения зависит не только от значения тока, но и от ряда других факторов.

2. Род и частота тока — переменный ток частотой 50—60 Гц более опасен, чем постоянный, что видно из приведенных данных. Однако при напряжении 300 В и выше опасность постоянного тока возрастает. Постоянный ток большей величины при разрыве цепи дает очень резкие удары, вызывающие судороги мышц рук (при малых значениях тока — ощущение нагрева тела).

Опасность действия переменного тока снижается с ростом частоты и становится практически заметной при частоте 1000—2000 Гц, полностью исчезает при частоте 450—500 кГц (остается лишь опасность ожогов).

3. Сопротивление тела человека — переменная величина, имеющая нелинейную зависимость от множества факторов, в том числе от состояния кожи, параметров электрической цепи, физиологических факторов и состояния окружающей среды. Основным сопротивлением в цепи тока через тело человека является верхний роговой слой кожи (эпидермис), толщина которого составляет 0,05—0,2 мм. При сухой неповрежденной и чистой

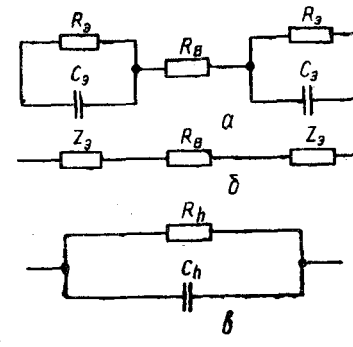


Рис. 24. Электрическая схема замещения тела человека:

а, б — полные эквивалентные схемы; *в* — упрощенная схема; $R_в$ — сопротивление внутренних тканей; $R_э$ и $Z_э$ — соответственно активное и полное сопротивления эпидермиса; $C_э$ — емкость образовавшегося конденсатора; R_h — активное сопротивление тела; C_h — емкость тела

коже сопротивление тела человека колеблется в пределах от 3000 до 100 000 Ом, а иногда и более. При снятом роговом слое кожи сопротивление внутренних тканей не превышает 500—700 и даже 300—500 Ом. Сопротивление тела человека (рис. 24) можно условно считать состоящим их трех последовательно включенных сопротивлений: двух одинаковых сопротивлений наружного слоя кожи ($2Z_н$) и одного внутреннего сопротивления ($R_в$). Сопротивление тела человека изменяется в широких пределах в зависимости от следующих факторов:

состояния кожи (сухая или влажная, чистая или загрязненная, целая или поврежденная) — при влажной, загрязненной и поврежденной коже сопротивление тела человека снижается;

плотности и площади контакта (чем больше плотность и площадь контакта, тем сопротивление тела человека меньше);

величины тока, протекающего через человека, и приложенного напряжения;

времени воздействия тока на человека;

пути прохождения тока через тело человека;

индивидуальных особенностей человека (пол, возраст, психофизиологическое состояние человека и др.).

Обычно принято считать узаконенной величиной сопротивления тела человека 1000 Ом, что наблюдается при неотпускающих токах (при отпускающем токе сопротивление тела человека обычно 2000—2500 Ом, при смертельном токе снижается до 700 Ом).

4. Величина приложенного напряжения — один из основных факторов, от которого зависит исход поражения электрическим током, поскольку определяет значе-

ние тока, протекающего через человека. От величины напряжения зависят возможность пробоя кожи и следующее затем резкое снижение общего сопротивления тела (при больших значениях напряжения сопротивление тела человека приближается к своему наименьшему пределу 300 Ом). Пробой эпидермиса возможен при напряжении 50 В и выше, а напряжение 200 В всегда вызывает пробой наружного слоя кожи. Известны случаи поражения током (даже со смертельным исходом) при напряжениях 36 В, 65 В (холостой ход электросварочных аппаратов), однако наиболее часты случаи электротравматизма при напряжениях 127, 220 и 380 В.

Зависимость сопротивления тела человека от приложенного напряжения видна из следующих данных:

Ток через человека, мА	1	6	65	75	100	250
Приложенное напряжение, В	6	18	75	80	100	175
Сопротивление тела человека, Ом	6000	3000	1150	1065	1000	700

5. Путь тока в теле человека— наиболее опасно прохождение тока через дыхательные мышцы и сердце. Различают 15 таких характерных путей тока в теле человека (петли тока): рука — рука, левая рука — ноги, правая рука — ноги, нога — нога и др.

6. Продолжительность воздействия тока на организм человека — один из основных факторов поражения электротоком. Чем короче время воздействия тока, тем меньше опасность. Вероятность наступления фибрилляции и остановки сердца зависит от длительности действия тока. Нормальное сокращение сердца от 60 до 80 раз в минуту, то есть длительность полного цикла (сокращение-расширение) равна 1 с. В каждом цикле в течение промежутка времени (фазы T) 0,15—0,2 с сердце наиболее чувствительно к току. Если время действия тока не совпадает с фазой T, большие токи не вызывают фибрилляции; при длительности действия тока, равной длительности цикла, он проходит через сердце также и в течение фазы T. Вероятность поражения при этом наибольшая. Таким образом, чем меньше длительность действия тока на человека, тем меньше вероятность совпадения времени, в течение которого через сердце проходит ток, с фазой T.

7. Индивидуальные особенности людей — ток, вызывающий лишь слабые ощущения у одного человека, мо-

жет быть неотпускающим для другого. Характер воздействия при одном и том же токе зависит от состояния нервной системы и всего организма в целом, от массы человека, его физического развития.

10.3. Схемы прикосновения к токоведущим частям

Если человек касается одновременно двух точек, между которыми существует напряжение, и при этом образуется замкнутая цепь, через тело человека проходит ток. Значение этого тока зависит от схемы прикосновения, то есть от того, каких частей электроустановки касается человек, а также от параметров электрической сети. Не касаясь параметров сети, рассмотрим схемы включения человека в цепь тока (схемы прикосновения).

1. Двухфазное (двухполюсное) прикосновение (рис. 25, *а*, *б*). При этом человек оказывается под рабочим напряжением сети и через него проходит ток

$$I_h = U_{раб}/R_h. \tag{63}$$

В трехфазной сети ток через человека определяется линейным (междуфазным) напряжением

$$I = \frac{U_л}{R_h} = \frac{\sqrt{3}\,U_ф}{R_h}. \tag{64}$$

2. Однофазное (однополюсное) прикосновение. Если человек, стоя на земле, касается одного из полюсов или одной из фаз, цепь тока замыкается через землю и, далее, через сопротивление изоляции и емкости фаз в сети с изолированной нейтралью (рис. 25, *в*) или через заземление нейтрали (рис. 25, *г*). При этом через тело человека происходит замыкание на землю, так как человек, касаясь провода, соединяет его с землей. Поэтому ток, проходящий через человека, можно представить как ток замыкания на землю:

$$I_h = I_з. \tag{65}$$

3. Прикосновение к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением. Нетоковедущие части электроустановки нормально не находятся под напряжением. Это корпуса электрооборудования, оболочки кабелей и т. п. Они могут оказаться под напряжением лишь случайно, в результате повреждения изоляции. Прикосновение к заземленному корпусу, имеющему кон-

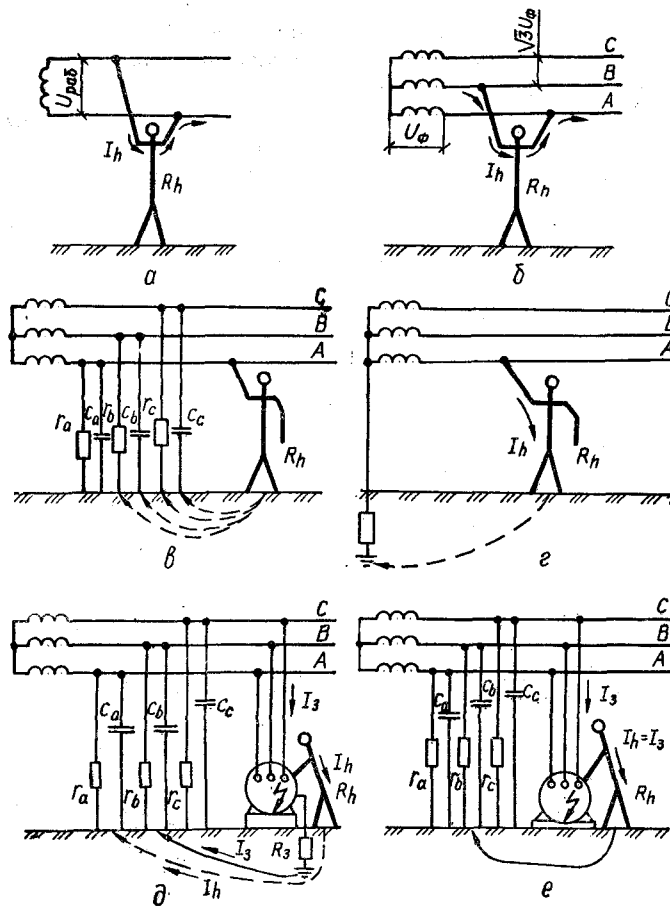


Рис. 25. Схемы прикосновения к токоведущим частям и к корпусу, оказавшемуся под напряжением:

а, б — двухфазное (двухполюсное) прикосновение; *в, г* — однофазное (однополюсное) прикосновение в сети с изолированной и заземленной нейтралью; *д, е* — прикосновение к «пробитому» корпусу при исправном заземлении и отсутствии заземления

такт с одной из фаз, показано на рис. 25, *д*. Часть тока замыкания на землю проходит через тело человека, то есть ток через тело человека зависит от тока замыкания на землю:

$$I_h = f(I_з).$$

Если человек касается незаземленного корпуса, оказавшегося под напряжением (рис. 25, *е*), через человека

проходит весь ток замыкания на землю $I_h = I_з$, то есть этот случай равноценен однополюсному прикосновению к токоведущим частям.

Различают напряжения прикосновения и шага. *Напряжение* прикосновения — это напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Во всех случаях контакта человека с частями, нормально или случайно находящимися под напряжением, это напряжение прикладывается ко всей цепи человека, куда входят сопротивления тела человека, обуви, пола или грунта, на котором стоит человек. Напряжение прикосновения приложено только к телу человека, а поэтому его можно определить как падение напряжения в теле человека:

$$U_{пр} = I_h R_h. \qquad (66)$$

При двухфазном прикосновении к токоведущим частям напряжение прикосновения равно рабочему напряжению электроустановки, а в трехфазной сети — линейному напряжению. При однофазном прикосновении к токоведущим частям напряжение прикосновения определяется фазным напряжением относительно земли. При прикосновении к заземленным нетоковедущим частям напряжение прикосновения зависит от напряжения корпуса относительно земли.

Напряжение шага — напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек. Если человек находится на грунте вблизи заземлителя, с которого стекает ток, то часть этого тока может ответвляться и проходить через ноги человека по нижней петле. Ток, проходящий через человека, зависит от тока замыкания на землю: $I_h = \varphi(I_з)$. Во всех случаях, кроме двухфазного (двухполюсного) прикосновения, в цепи тока через человека участвует грунт (земля), одна из точек касания (или обе) находится на поверхности грунта, при этом ток через человека зависит от тока замыкания на землю. Чтобы выявить эту зависимость и определить ток через человека, надо провести анализ явлений прохождения тока в грунте (тока замыкания на землю).

10.4. Растекание тока при замыкании на землю

Электрическим замыканием на землю называется случайное электрическое соединение находящихся под напряжением частей электроустановки непосредственно с землей или с металлическими нетоковедущими частями, не изолированными от земли. Замыкание на землю может произойти вследствие появления контакта между токоведущими частями и заземленными корпусом или конструктивными частями оборудования, при падении на землю оборванного провода, при пробое изоляции оборудования высокого напряжения и т. п. Во всех этих случаях ток от частей, находящихся под напряжением, проходит в землю через электрод, который осуществляет контакт с грунтом. Специальный металлический электрод принято называть *заземлителем*. Размеры электрода могут быть различными (от нескольких сантиметров до десятков и сотен метров), форма может быть очень сложной, и закон распределения потенциалов в электрическом поле электрода определяется сложной зависимостью. Состав, а значит, и электрические свойства грунта неоднородны, особенно, если учесть слоистое строение грунта.

С целью упростить картину электрического поля и его анализ сделаем допущение, что ток стекает в землю через одиночный заземлитель полусферической формы, погруженный в однородный и изотропный грунт с удельным сопротивлением ρ, во много раз превышающим удельное сопротивление материала заземлителя (рис. 26). Плотность тока в точке A на поверхности грунта на расстоянии x от заземлителя определяется как отношение тока замыкания на землю к площади поверхности полушария радиусом x:

$$\delta = \frac{I_з}{2\pi x^2}. \qquad (67)$$

Эта поверхность является *эквипотенциальной поверхностью*. Для определения потенциала точки A, лежащей на поверхности с радиусом x, выделим элементарный слой толщиной dx. Падение напряжения в этом слое $dU = Edx$. Потенциал точки A (или напряжение этой точки относительно земли) равен суммарному падению

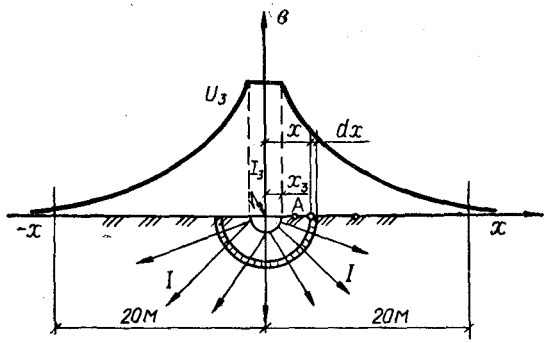


Рис. 26. Растекание тока в грунте через полусферический заземлитель (потенциалы точек грунта в поле растекания изменяются по гиперболическому закону)

напряжения от точки A до земли, то есть бесконечно удаленной точки с нулевым потенциалом:

$$\varphi_A = U_A = \int_x^\infty dU. \tag{68}$$

Напряженность электрического поля в точке A определяется из закона Ома, выраженного в дифференциальной форме:

$$E = \delta\rho.$$

Подставив это значение, получим

$$\varphi_A = U_A = \int_0^\infty \frac{I_з\rho}{2\pi x^2}\,dx = \frac{I_з\rho}{2\pi x} = \frac{k}{x}, \tag{69}$$

где $\frac{I_з\rho}{2\pi} = k = \text{const}$, то есть $\varphi_A = U_A = k/x$.

Это выражение является уравнением гиперболы, а это значит, что потенциалы точек грунта в поле растекания изменяются по гиперболическому закону (рис. 26), уменьшаясь от своего максимального значения у электрода до нуля по мере удаления от электрода (заземлителя). Такое распределение потенциалов объясняется формой проводника-грунта, поперечное сечение которого возрастает пропорционально квадрату расстояния от центра заземлителя x^2.

В объеме земли, где проходит ток, возникает так называемое поле растекания тока. Теоретически оно про-

стирается до бесконечности. Однако в действительных условиях уже на расстоянии 20 м от заземлителя сечение слоя земли, через который проходит ток, оказывается столь большим, что плотность тока здесь практически равна нулю, то есть поле растекания тока можно считать ограниченным объемом сферы радиусом примерно 20 м. В цепи замыкания на землю наибольшим потенциалом обладает заземлитель. Точки, лежащие на поверхности грунта, имеют тем меньший потенциал, чем дальше они находятся от заземлителя.

Область поверхности грунта, потенциал которой равен нулю, называется *электротехнической землей* (практически она начинается с расстояния $x = 10 \ldots 20$ м от заземлителя). Область грунта, лежащая вблизи заземлителя, где потенциалы не равны нулю, называется полем растекания тока. Сопротивление заземлителя растеканию тока (сопротивление растеканию) может быть определено как суммарное сопротивление грунта от заземлителя до любой точки с нулевым потенциалом (земли). Таким образом, сопротивление току замыкания на землю оказывает грунт, находящийся в поле растекания. За пределами поля растекания грунт представляет собой проводник с бесконечно большим поперечным сечением и не оказывает сопротивления.

Человек, находящийся в поле растекания заземлителя, оказывается под напряжением, если его ноги находятся в точках с разными потенциалами. На рис. 27 показано распределение потенциалов в поле растекания одиночного заземлителя. Напряжение шага определяется как разность потенциалов между точками A и $Б$:

$$U_{ш} = \varphi_A - \varphi_Б. \qquad (70)$$

Так как точка A удалена от заземлителя на расстояние x, потенциал ее при полусферическом заземлителе

$$\varphi_A = \frac{I_з \rho}{2\pi x}. \qquad (71)$$

Точка $Б$ отстоит от заземлителя на $x + a$, где a — расстояние шага человека, то есть ее потенциал

$$\varphi_Б = \frac{I_з \rho}{2\pi (x + a)}. \qquad (72)$$

Тогда

$$U_{ш} = \frac{U_з a x}{x^2 + ax}, \text{ или } U_{ш} = U_з \beta_1, \qquad (73)$$

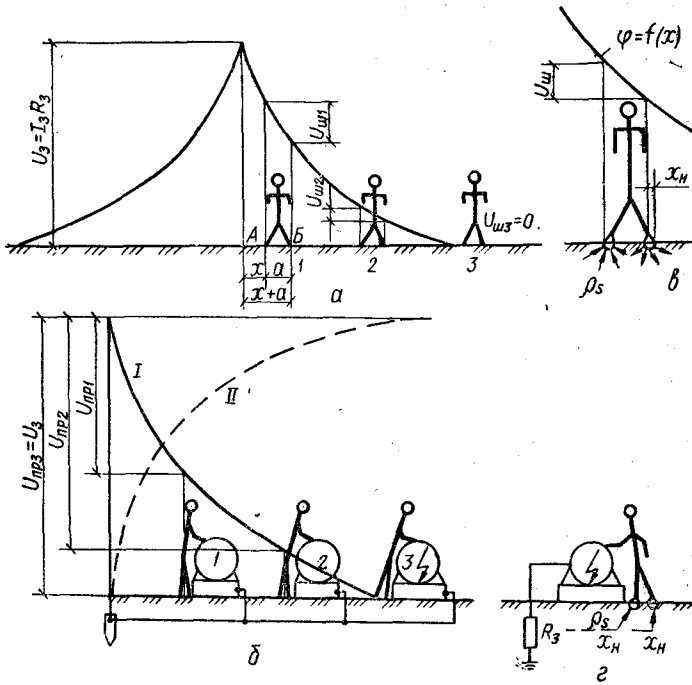


Рис. 27. Распределение потенциалов в поле растекания одиночного заземлителя:

а, б — напряжения шага и прикосновения; *в* — растекание тока в грунте с опорной поверхности ног человека, попавшего под напряжение шага; *г* — то же, под напряжением прикосновения

где β_1 — коэффициент напряжения шага, учитывающий форму потенциальной кривой (для полусферического заземлителя $\beta_1 = \frac{ax}{x^2 + ax}$; для заземлителей другой формы значения β_1 приведены в справочных таблицах).

Напряжение шага зависит от сопротивления опорной поверхности ног $R_н = \rho_s / \pi x_н$, где ρ_s — удельное сопротивление поверхностного слоя грунта и $x_н = 7$ см — эквивалентный радиус опорной поверхности ног. Влияние этого сопротивления учитывается коэффициентом

$$\beta_2 = \frac{R_h}{R_{сh}} = \frac{R_h}{R_h + R_{об} + R_н}, \text{ то есть } U_ш = U_з \beta_1 \beta_2, \qquad (74)$$

где R_h — сопротивление тела человека, Ом; $R_{сh}$ — полное сопротивление цепи человека, Ом; $R_{об}$ — сопротивление обуви, Ом.

Опасность представляет и напряжение прикосновения — разность потенциалов между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. В этом случае для человека, который стоит на грунте и касается оказавшегося под напряжением заземленного корпуса, напряжение прикосновения может быть определено из выражения

$$U_{пр} = \varphi_р - \varphi_н. \qquad (75)$$

Так как человек касается корпуса, потенциал руки $\varphi_р$ есть потенциал корпуса или напряжение относительно земли:

$$\varphi_р = U_з = \frac{I_з \rho}{2\pi x_з}.$$

Ноги человека находятся в точке A и потенциал ног равен

$$\varphi_н = \varphi_A = \frac{I_з \rho}{2\pi x}.$$

На рис. 27, *б* показано несколько корпусов потребителей (электродвигателей), присоединенных к заземлителю $R_з$. Потенциалы на поверхности грунта при замыкании на корпус любого потребителя распределяются по кривой I. Потенциалы всех корпусов одинаковы, так как корпуса электрически связаны между собой заземляющим проводом, падением напряжения в котором можно пренебречь. Чтобы получить напряжения прикосновения корпуса, нужно из напряжения относительно земли вычесть потенциал точки грунта, на которой стоит человек. Для человека, стоящего над заземлителем, напряжение прикосновения равно нулю, так как потенциалы рук и ног одинаковы и равны потенциалу корпусов. По мере удаления от заземлителя напряжение прикосновения возрастает и у последнего (третьего) корпуса оно равно напряжению относительно земли, так как человек стоит на земле и потенциал его ног равен нулю. В общем случае напряжение прикосновения есть часть напряжения относительно земли и в поле растекания заземлителей любой конфигурации:

$$U_{пр} = U_з \alpha_1, \qquad (76)$$

где α_1 — коэффициент напряжения прикосновения (принимается по таблице в зависимости от формы заземли-

теля). Напряжение прикосновения с учетом дополнительных сопротивлений в цепи человека

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{з}}\alpha_1\alpha_2, \qquad (77)$$

где $\alpha_2 = \dfrac{R_h}{R_{ch}} = \dfrac{R_h}{R_h + R_{\text{об}} + R_{\text{н}}}$; $R_{\text{н}} = \dfrac{\rho_s}{4\pi x_{\text{н}}}$; $x_{\text{н}} = 7$ см.

С некоторым приближением выражение для определения $R_{\text{н}}$ можно использовать и для учета сопротивления пола, на котором стоит человек.

10.5. Анализ опасности электрических сетей

Анализ опасности электрических сетей практически сводится к определению значения тока, протекающего через тело человека в различных условиях, в которых может оказаться человек при эксплуатации электрических сетей и электроустановок. Поражение человека электрическим током может наступить при двухфазном и однофазном прикосновении к токоведущим частям, а также при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением, и при включении на напряжение шага. Двухфазное (двухполюсное) прикосновение является наиболее опасным, так как человек оказывается под полным рабочим или междуфазным (линейным) напряжением:

$$I_h = U_{\text{сети}}/R_h, \quad I_h = U_{\text{ф}}/R_h, \quad I_h = U_{\text{л}}/R_h. \qquad (78)$$

При двухфазном прикосновении к токоведущим частям значение поражающего тока зависит лишь от напряжения сети и сопротивления тела человека. Наибольшее распространение имеет однополюсное (однофазное) прикосновение к токоведущим частям, где значение тока, проходящего через человека, в трехфазной сети зависит прежде всего от режима нейтрали источника питания. Нейтраль источника питания может быть изолированная и заземленная. *Изолированной* считается система, когда нейтраль трансформатора или генератора не присоединена к заземляющему устройству или присоединена через аппараты, компенсирующие емкостный ток сети (трансформаторы напряжения и другие аппараты, имеющие большое сопротивление). *Заземленной нейтралью* называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (трансформатор тока и т. п.).

Рассмотрим наиболее распространенные трехфазные сети с изолированной и заземленной нейтралью:

1. *Сети с изолированной нейтралью.* Характерны тем, что ток замыкания на землю и ток через человека, касающегося фазы в таких сетях, зависят от сопротивлений изоляции и емкости фаз относительно земли. Изоляция токоведущих частей (проводов, обмоток, шин и т. п.) выполняется из реальных диэлектриков. Вследствие старения изоляции, увлажнения и других неблагоприятных условий удельное электрическое сопротивление ее снижается. Поэтому на каждом участке длины провода изоляция имеет конечное активное сопротивление. На рис. 28 приведена схема однофазного прикосновения в трехпроводных трехфазных сетях с изолированной нейтралью. Принимаем, что емкость фаз относительно земли симметрична ($c_1 = c_2 = c_3 = c$; $b_1 = b_2 = b_3 = b$), а также симметричны сопротивления изоляций ($r_1 = r_2 = r_3 = r_{из}$ и $g_1 = g_2 = g_3 = g$), то есть

$$\dot{I}_h = U_ф G_{ch} \frac{3g + j3b}{G_{ch} + 3g + j3b}$$

или через полные проводимости

$$\dot{I}_h = U_ф G_{ch} \frac{3Y}{G_{ch} + 3Y}.$$

Заменив проводимости сопротивлениями $G_{ch} = 1/R_{ch}$ и $Y = 1/Z$, получим выражение

$$\dot{I}_h = \frac{3U_ф}{3R_{ch} + Z}. \qquad (79)$$

В высоковольтных воздушных сетях большой протяженности и кабельных сетях активные сопротивления изоляции фазных проводов невелики по отношению к емкостным сопротивлениям, а поэтому можно записать (без учета $r_{из}$)

$$I_h = \frac{3U_ф \omega c}{\sqrt{9R_h^2\omega^2C^2 + 1}} = \frac{U_ф}{\sqrt{R_h^2 + \left(\frac{x_c}{3}\right)^2}}, \qquad (80)$$

где $x_c = \frac{1}{\omega C}$ — емкостное сопротивление, Ом; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота переменного тока, рад/с; C — емкость фаз относительно земли, Ф (фарад).

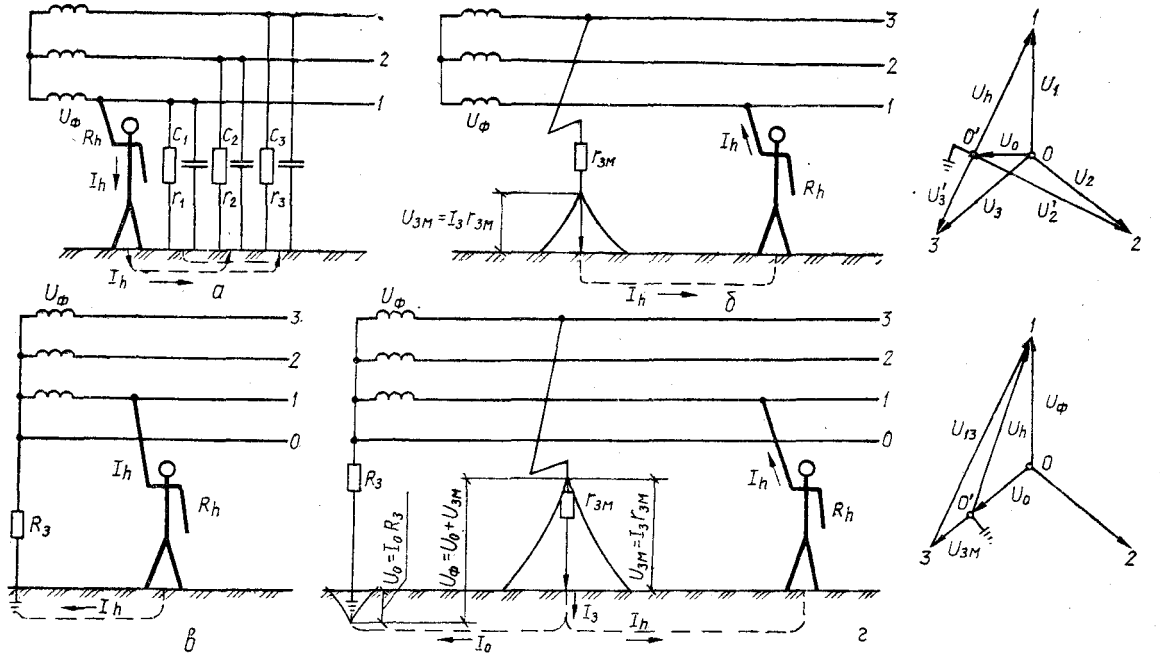


Рис. 28. Однофазное прикосновение в трехфазных сетях (50 Гц):

а — при нормальном режиме в сетях с изолированной нейтралью; *б* — то же, при аварийном режиме; *в*, *г* — то же, в сетях с заземленной нейтралью

В сетях напряжением до 1000 В малой протяженности емкость невелика и емкостной проводимостью можно пренебречь ($Y = g$ и $Z = r_{из}$), то есть сопротивление фазы относительно земли равно активному сопротивлению изоляции, а ток через человека определяется из выражения

$$I_h = \frac{3U_ф}{3R_{ch} + r_{из}}, \qquad (81)$$

которое показывает важное значение изоляции как фактора безопасности: чем выше сопротивление изоляции $r_{из}$, тем меньше ток, проходящий через человека. При прикосновении человека к фазе в сети с малой емкостью и большим сопротивлением изоляции, если полное сопротивление фаз относительно земли значительно больше сопротивления цепи человека ($Z \gg R_{ch}$), выражение принимает вид

$$I_h = \frac{3U_ф}{Z}. \qquad (82)$$

В этом случае ток через человека ограничивается сопротивлением фаз относительно земли и почти не зависит от сопротивления цепи человека.

2. *Трехфазные сети с заземленной нейтралью.* Такие сети имеют широкое применение. Ток через человека при однофазном прикосновении (рис. 28) можно определить из выражения

$$I_h = \frac{U_ф}{R_{ch} + R_з}, \qquad (83)$$

где можно пренебречь сопротивлением заземления нейтрали, так как оно не превышает 10 Ом (а сопротивление цепи человека R_{ch} не ниже 1000 Ом), то есть

$$I_h = U_ф / R_{ch}. \qquad (84)$$

Таким образом, в сети с заземленной нейтралью ток, протекающий через человека, не зависит ни от сопротивления изоляции, ни от емкости сети относительно земли. Здесь необходимо существенно повышать безопасность сопротивления обуви $R_{об}$, грунта (пола) $R_н$ и другие дополнительные сопротивления в цепи человека.

Исходя из изложенного выше анализа, можно сделать вывод, что менее опасными являются трехфазные сети

с изолированной нейтралью, с хорошей изоляцией проводов, минимальными емкостями относительно земли при отсутствии замыкания фаз на землю. Такие сети правилами допускается применять в особо опасных условиях окружающей среды — в шахтах, карьерах, на торфоразработках при наличии постоянного контроля изоляции.

10.6. Классификация электроустановок

Электроустановками называются установки, предназначенные для производства, преобразования, распределения и потребления электроэнергии. В различных электроустановках различна опасность поражения электрическим током, так как параметры электроэнергии, условия эксплуатации электрооборудования и характер среды помещений, в которых оно установлено, очень разнообразны. Комплекс защитных мер должен соответствовать виду электроустановки и условиям применения электрооборудования и обеспечивать достаточную безопасность. Опасность поражения током, а также возможная его тяжесть прежде всего зависят от номинального напряжения. Различают электроустановки напряжением до 1000 В и электроустановки напряжением выше 1000 В. Применяют также малые напряжения: 42, 36, 12 В и менее.

Различают электроустановки с большими токами замыкания на землю, в которых ток однополюсного глухого замыкания на землю превышает 500 А (системы с заземленной нейтралью высокого напряжения 110 кВ и более), и электроустановки с малыми токами замыкания на землю, в которых ток однополюсного глухого замыкания на землю равен или меньше 500 А (системы с изолированной нейтралью напряжением 3, 6, 10, 20, 35 кВ).

Существенно влияние на безопасность условий среды, от которых зависит состояние изоляции, а также электрическое сопротивление тела человека. При повышенной влажности снижается сопротивление изоляции. *Сухими* называются такие помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60 %, *влажными* — такие, в которых относительная влажность воздуха больше 60 %, но не превышает 75 %, а *сырыми* — в которых относительная влажность воздуха длительное время превышает 75, но не достигает 100 %. *Особо сыры-*

ми называются помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 %.

Повышенная температура воздуха ускоряет старение изоляции, что приводит к снижению ее сопротивления и даже к разрушению, и снижает сопротивление тела человека вследствие смачивания кожи выделяющимся потом. По этим причинам при повышенной температуре воздуха снижается безопасность эксплуатации электрооборудования. Помещения, в которых температура воздуха длительно превышает +30 °С, называются *жаркими.*

Токопроводящий пол (металлический, земляной, железобетонный, кирпичный и т. п.), на котором стоит человек, касающийся частей, находящихся под напряжением, резко уменьшает сопротивление цепи человека. То же самое наблюдается при одновременном прикосновении к имеющим связь с землей корпусам технологического оборудования (металлическим конструкциям зданий и сооружений) и к частям электрооборудования, нормально или случайно находящихся под напряжением. Наличие проводящей пыли, проникающей под кожухи электрооборудования и на провода, приводит к тому, что по осевшей пыли проходит ток, создавая утечки и замыкания на землю, а также между фазами. Помещения, в которых выделяется технологическая пыль в таких количествах, что она может проникать под кожухи и оседать на проводах, называются *пыльными помещениями* (их делят на помещения с проводящей и непроводящей пылью). Газы, пары или отложения на проводах разрушают изоляцию, снижают ее сопротивление, а также увеличивают опасность поражения током. Помещения, в воздухе которых содержатся газы, пары или образуются отложения, разрушающие изоляцию или токоведущие части оборудования, называются *помещениями с химически активной средой.*

На основании изложенного можно выделить признаки, по которым все помещения с электроустановками делятся ПУЭ (по опасности поражения электрическим током) на классы: без повышенной опасности, повышенной опасности и особой опасности.

Признаки повышенной опасности: наличие токопроводящих полов; наличие сырости (относительная влажность воздуха выше 75 %) или проводящей пыли; повышенная температура воздуха (более +30 °С); возмож-

ность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей корпусам технологического оборудования, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования или токоведущим частям — с другой.

Признаки особой опасности: наличие особой сырости (относительная влажность воздуха приближается к 100 %); наличие химически активной среды; наличие одновременно двух и более признаков повышенной опасности. Открытые или наружные электроустановки, которые эксплуатируются на открытом воздухе, приравниваются к электроустановкам, эксплуатирующимся в особо опасных помещениях.

Учебно-поисковая задача

Первичные критерии электробезопасности.

Первичные критерии электробезопасности — это пороговые значения электрического тока, соответствующие определенным ответным реакциям организма человека и необходимые для расчета защитных мер и средств в электроустановках. По установлению этих критериев до настоящего времени нет однозначных нормативных данных по допустимым для человека токам и напряжениям. Это объясняется сложностью физиологических процессов при протекании тока через человека, неоднозначностью реакции организма отдельных лиц на одинаковые токи. С позиции практического использования следует выделить три первичных критерия электробезопасности — пороговые ощутимый, неотпускающий и фибрилляционный токи.

Количественно эти критерии отдельными специалистами оцениваются по-разному. Наиболее обоснованными для электроустановок переменного тока частотой 50 Гц являются пороговый ощутимый ток — 0,5 мА и пороговый неотпускающий ток — 10 мА. Постоянный ток представляет для человека меньшую опасность, чем переменный ток промышленной частоты. Это обстоятельство всегда является важным аргументом сторонников постоянного тока. Важное практическое значение для эффективной борьбы за жизнь человека имеет установление системы, с которой начинает развиваться поражение током при электрическом ударе. Какая система является первично поражаемой — кровообращения или дыхания? Многими исследованиями случаев поражения электрическим током установлено, что причиной послужила начальная стадия развития фибрилляции, то есть нарушение системы кровообращения. Однако нередко в качестве первопричины поражения медики констатировали остановку органов дыхания. Эти проблемы требуют дальнейшего исследования.

Пример 8. Человек коснулся оборванного и лежащего на земле провода воздушной линии, находящейся под напряжением. Определить напряжение прикосновения $U_{пр}$, если длина участка провода, лежащего на земле, $l = 5$ м; расстояние от че-

ловека до этого участка $l_1 = 3$ м; диаметр провода $2r = 0{,}01$ м; ток замыкания на землю $I_з = 10$ А; $\rho = 100$ Ом · м; $R_h = 1000$ Ом.

Р е ш е н и е. 1. Определяем потенциал провода, рассматривая провод, лежащий на земле, как протяженный заземлитель круглого сечения, то есть

$$\varphi_з = \frac{I_з \rho}{\pi l} \ln \frac{l}{r} = \frac{10 \cdot 100}{\pi \cdot 5} \ln \frac{5}{0{,}005} \approx 440 \text{ В}.$$

2. Определяем потенциал на поверхности земли в том месте, где стоит человек:

$$\varphi_{п.з} = \frac{I_з \rho}{2\pi l} \ln \frac{2x + l}{2x - l} = \frac{10 \cdot 100}{2\pi \cdot 5} \ln \frac{2(2{,}5 + 3) + 5}{2(2{,}5 + 3) - 5} \approx 30 \text{ В}.$$

3. Определяем коэффициент напряжения прикосновения α_2, учитывающего падение напряжения в сопротивлении растеканию ног человека

$$\alpha_2 = \frac{R_h}{R_h + 1{,}5\rho} = \frac{1000}{1000 + 1{,}5 \cdot 100} = 0{,}87.$$

4. Определяем напряжение прикосновения

$$U_{пр} = \varphi_з \alpha_1 \alpha_2 = (\varphi_з - \varphi_{п.з}) \alpha_2 =$$

$= (440 - 30)\, 0{,}87 \approx 360$ В, то есть в данном случае человек подвергнут смертельной опасности поражения электрическим током.

Глава 11

ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ И СРЕДСТВА В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

11.1. Причины поражения электрическим током и основные меры защиты

Основные причины несчастных случаев от воздействия электрического тока:

случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением;

появление напряжения прикосновения на металлических конструктивных частях электрооборудования (корпусах, кожухах и т. п.) в результате повреждения изоляции и других причин;

появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;

возникновение напряжения шага на поверхности земли в результате замыкания провода на землю.

Основными мерами защиты от поражения электрическим током являются:

обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением, для случайного прикосновения;

электрическое разделение сети;

устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах, кожухах и других частях электрооборудования, что достигается защитным заземлением, занулением, защитным отключением;

применение малых напряжений;

защита от случайного прикосновения к токоведущим частям применением кожухов, ограждений, двойной изоляции;

защита от опасности при переходе напряжения с высшей стороны на низшую;

контроль и профилактика повреждений изоляции;

компенсация емкостной составляющей тока замыкания на землю;

применение специальных электрозащитных средств — переносных приборов и предохранительных приспособлений;

организация безопасной эксплуатации электроустановок.

Применение малых напряжений. Если номинальное напряжение электроустановки не превышает длительно допустимого напряжения прикосновения, снижается опасность поражения электрическим током. Наибольшая степень безопасности достигается при малых напряжениях 6—12 В при питании потребителей от аккумуляторов, гальванических элементов, выпрямительных установок, преобразователей частоты, понизительных трансформаторов на напряжение 12, 24, 36, 42 В. Применение малых напряжений ограничивается трудностью осуществления протяженной сети. Поэтому областью применения малых напряжений являются ручной электрифицированный инструмент, переносные лампы, лампы местного освещения, сигнализация.

Электрическое разделение сети. Разветвленная сеть большой протяженности имеет значительную емкость и малое активное сопротивление изоляции относительно земли. Ток замыкания на землю в такой сети может быть

значительным. Если единую сильно разветвленную сеть с большой емкостью и малым сопротивлением изоляции разделить на ряд небольших сетей такого же напряжения, которые будут обладать незначительной емкостью и высоким сопротивлением изоляции, опасность поражения резко снизится. Обычно электрическое разделение сетей осуществляется путем подключения отдельных электроприемников через разделительный трансформатор, питающийся от основной разветвленной сети.

Защита от опасности при переходе напряжения с высшей стороны на низшую. При повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора возникает опасность перехода напряжения и, как следствие, опасность поражения человека, возникновения загораний и пожаров. Способы защиты зависят от режима нейтрали. Сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью, связанные через трансформатор с сетями напряжением выше 1000 В, должны быть защищены пробивным предохранителем, установленным в нейтрали или фазе на стороне низшего напряжения трансформатора. Тогда в случае повреждения изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений этот предохранитель пробивается и нейтраль или фаза низшего напряжения заземляется. Напряжение нейтрали относительно земли $U_з = I_з R_0$. Мерой защиты является снижение этого напряжения до безопасного заземлением нейтрали с сопротивлением $R_0 \leqslant 4$ Ом.

Пробивные предохранители применяются при высшем напряжении более 3000 В. Если высшее напряжение ниже 1000 В, пробивной предохранитель не срабатывает. Поэтому вторичные обмотки понизительных трансформаторов для питания ручного электроинструмента и ручных ламп малым напряжением заземляют.

11.2. Контроль и профилактика повреждений изоляции

Профилактика изоляции направлена на обеспечение ее надежной работы. Прежде всего необходимо исключить механические повреждения, увлажнение, химическое воздействие, запыление, перегревы. Но даже в нормальных условиях изоляция постепенно теряет свои первоначальные свойства,«стареет». С течением времени раз-

виваются местные дефекты. Сопротивление изоляции начинает резко уменьшаться, а ток утечки — непропорционально расти. В месте дефекта появляются частичные разряды тока, изоляция выгорает. Происходит так называемый пробой изоляции, в результате чего возникает короткое замыкание, которое, в свою очередь, может привести к пожару или поражению людей током.

Чтобы поддерживать диэлектрические свойства изоляции, необходимо систематически выполнять профилактические испытания, осмотры, удалять непригодную изоляцию и заменять ее.

Периодически в помещениях без повышенной опасности и в опасных помещениях соответственно не реже одного раза в два года и в полгода проверяют соответствие сопротивления изоляции норме. При обнаружении дефектов изоляции, а также после монтажа сети или ее ремонта на отдельных участках отключенной сети между каждым проводом и землей или между проводами разных фаз проводят измерения. При этом в силовых цепях отключают электроприемники, аппараты, приборы, в осветительных — вывинчивают лампы, а штепсельные розетки, выключатели и групповые щитки оставляют присоединенными. Перед началом измерений необходимо убедиться в том, что на исследуемом участке сети (между двумя предохранителями или за последним предохранителем) или оборудовании никто не работает и оно отключено со всех сторон. Кабели, шины, электрические машины, воздушные линии, конденсаторы «разряжают на землю», то есть касаются заземленным проводом отключенных токопроводящих частей каждой фазы, снимая остаточный емкостный заряд. Значение измеренного сопротивления изоляции должно быть не менее нормы, указанной в ПУЭ (не менее 0,5 МОм/фазу участка сети напряжением до 1000 В).

Для измерения используют прибор-мегаомметр на напряжения 500, 1000, 2500 В с пределами измерений 0—100, 0—1000, 0—10000 МОм. Чтобы получить представление о сопротивлении изоляции всей сети, измерение надо производить под рабочим напряжением с подключенными потребителями. Такой контроль возможен только в сетях с изолированной нейтралью (в сети с заземленной нейтралью постоянный ток прибора контроля изоляции замыкается через заземление нейтрали и мегаомметр покажет нуль).

Применяется также постоянный (непрерывный) контроль изоляции — измерение сопротивления изоляции под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановки без автоматического отключения. Отсчет сопротивления изоляции производится по шкале прибора. При снижении сопротивления изоляции до предельно допустимого или ниже прибор подает звуковой или световой сигнал или оба сигнала вместе. Из отечественных приборов контроля изоляции наибольшее распространение получили ПКИ, РУВ, УАКИ, М-143, МКН-380, Ф 419. Наиболее простым является контроль изоляции вольтметрами. В установках напряжением до 1000 В вольтметры подключают непосредственно к фазам, а в установках выше 1000 В — через измерительный трансформатор.

На предприятиях широко применяется испытание изоляции повышенным напряжением. Этот метод наиболее эффективен для выявления местных дефектов изоляции и определения ее прочности, то есть способности длительно выдерживать рабочее напряжение. Электрические машины и аппараты испытывают током промышленной частоты, как правило, в течение 1 мин. Дальнейшее воздействие тока может повлиять на качество изоляции. Значение испытательного напряжения нормируется в зависимости от номинального напряжения электроустановки и вида изоляции.

11.3. Защита от случайного прикосновения к токоведущим частям

Чтобы исключить возможность прикосновения или опасного приближения к открытым токоведущим частям, должна быть обеспечена недоступность с помощью ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте. Ограждения применяют как сплошные, так и сетчатые (сетка 25 × 25 мм). Сплошные ограждения в виде кожухов и крышек применяют в электроустановках напряжением до 1000 В. Сетчатые ограждения применяются в установках напряжением до 1000 В и выше. Блокировки применяются в электроустановках напряжением выше 250 В, в которых часто производятся работы на ограждаемых токоведущих частях. Блокировка обеспечивает снятие напряжения с токоведущих частей электроустановок при

проникновении к ним без снятия напряжения. По принципу действия блокировки делят на механические, электрические и электромагнитные. *Электрические блокировки* осуществляют разрыв цепи контактами, которые устанавливаются на дверях ограждений, крышках и дверцах кожухов. Механические блокировки применяются в электрических аппаратах (рубильниках, пускателях, автоматах). В аппаратуре автоматики, вычислительных машинах и радиоустановках применяются блочные схемы: когда блок выдвигается или удаляется со своего места, штепсельный разъем размыкается. Таким образом, блок отключается автоматически при открывании его токоведущих частей. Блокировки применяются также для предупреждения ошибочных действий персонала при переключениях в распределительных устройствах и на подстанциях.

Для защиты от прикосновения к частям, находящимся под напряжением, применяется также двойная изоляция — электрическая изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции. Рабочая изоляция — изоляция токоведущих частей электроустановки. Дополнительная изоляция наиболее просто осуществляется изготовлением корпуса из изолирующего материала (электробытовые приборы).

11.4. Компенсация емкостей составляющей тока замыкания на землю

Ток замыкания на землю, а значит , и ток через человека в сети с изолированной нейтралью зависят не только от сопротивления изоляции, но и от емкости сети относительно земли. Контроль и профилактика повреждений изоляции позволяют поддерживать ее сопротивление на высоком уровне. Емкость фаз относительно земли не зависит от каких-либо дефектов; она определяется общей протяженностью сети, высотой подвеса проводов воздушной сети, толщиной фазной изоляции жил кабеля, то есть геометрическими параметрами. Поэтому емкость сети не может быть снижена. В процессе эксплуатации емкость сети изменяется лишь за счет отключения и включения отдельных линий, что определяется требованиями электроснабжения.

Поскольку невозможно уменьшить емкость сети, снижение тока замыкания на землю достигается путем ком-

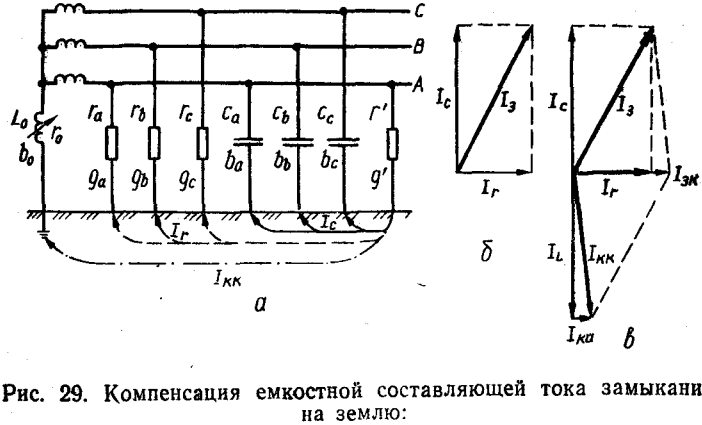


Рис. 29. Компенсация емкостной составляющей тока замыкания на землю:

а — принципиальная схема; *б*, *в* — векторные диаграммы тока замыкания на землю до и после компенсации

пенсации его емкостной составляющей индуктивностью. При этом компенсирующая катушка включается между нейтралью и землей, как показано на рис. 29. При замыкании на землю в трехпроводной сети с изолированной нейтралью ток проходит через переходное сопротивление r' (проводимость g') и далее через сопротивления изоляции двух других фаз r_b и r_c (проводимости g_b и g_c) и параллельно через емкости C_b и C_c (проводимости b_b и b_c). Этот ток имеет две составляющие — активную I_r и емкостную I_c (рис. 29, *б*). На векторной диаграмме показана сумма токов до и после компенсации.

К активной и емкостной составляющим тока замыкания на землю добавляются активный и индуктивный токи компенсирующей катушки (наличие активной составляющей объясняется активными потерями в катушке). Емкостная и индуктивная составляющие находятся в противофазе и при настройке в резонанс взаимно уничтожают друг друга, активные составляющие складываются, то есть ток замыкания на землю становится равным сумме $I_{зк} = I_r + I_{ка}$ и значительно меньшим, чем до компенсации (здесь $I_{ка}$ — активный ток компенсирующей катушки). В случае неполной компенсации емкости может быть некоторая емкостная составляющая тока замыкания на землю при недокомпенсации или индуктивная — при перекомпенсации. Однако в обоих случаях ток замыкания на землю снижается.

Ток замыкания на землю в трехпроводной сети ($Y_0 = 0$) при симметричных сопротивлениях изоляции и емкостях фаз относительно земли (то есть при $r_a = r_b = r_c = r \to \infty$; $g_a = g_b = g_c = g \to 0$; $C_a = C_b = C_c = C$ и $b_a = b_b = b_c = b$) можно определить из выражения (79). ПУЭ предписывает компенсацию, если ток замыкания на землю превышает в сетях напряжением 35 кВ 10 А, 15—20 кВ — 15 А, 10 кВ — 20 А, 6 кВ — 30 А.

Компенсирующие катушки иногда называют *дугогасящими*, так как, уменьшая ток замыкания на землю, они способствуют гашению дуги между токоведущими и заземленными частями и тем самым ликвидации повреждения — замыканию на землю. Эта защитная мера применяется в дополнение к защитному отключению или заземлению.

11.5. Защитное заземление, зануление и защитное отключение

Однофазные замыкания тока, которые могут возникнуть в электрических машинах, аппаратах, приборах, на ЛЭП, опасны тем, что на корпусах и опорах появляются напряжения, достаточные для поражения человека и возникновения пожара. Ток замыкания создает опасные напряжения не только на самом оборудовании, но и возле него, растекаясь с оснований и фундаментов.

Защиту от поражения электрическим током и возгораний можно осуществить защитным отключением (отключают поврежденный участок сети быстродействующей защитой), либо защитным заземлением (снижают напряжения прикосновения и шага), либо занулением (отключают оборудование и снижают напряжения прикосновения и шага на период, пока не сработает отключающий аппарат).

Рассмотрим эти важнейшие меры защиты в электроустановках.

Защитное заземление. Главное назначение защитного заземления — понизить потенциал на корпусе электрооборудования до безопасной величины.

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетокопроводящих частей, которые могут оказаться под напряжением. Корпуса электрических машин, трансфор-

маторов, светильников, аппаратов и другие металлические нетоковедущие части могут оказаться под напряжением при замыкании их токоведущих частей на корпус. Если корпус при этом не имеет контакта с землей, прикосновение к нему так же опасно, как и прикосновение к фазе. Если же корпус заземлен, он окажется под напряжением $U_з = I_з r_з$, а человек, касающийся этого корпуса, попадает под напряжение прикосновения $U_{пр} = U_з \alpha_1 \alpha_2$. Ток через человека при этом определится из выражения

$$I_h = I_з \frac{r_з}{R_h} \alpha_1 \alpha_2, \qquad (85)$$

откуда видно, что чем меньше $r_з$ и α_1, тем меньше ток через человека, стоящего на земле и касающегося корпуса оборудования. Таким образом, безопасность обеспечивается путем заземления корпуса заземлителем, имеющим малое сопротивление заземления $R_з$ и малый коэффициент напряжения прикосновения α_1 (рис. 30). Из схемы замещения цепи однофазного тока замыкания следует, что сопротивление тела человека и заземлителя параллельно. Поэтому преобладающая часть тока замыкания на землю пройдет через заземлитель ($r_з = 4$ Ом) и только незначительная часть — через тело человека (сопротивление тела человека даже в худших условиях — $R_h = 1000$ Ом). В этом суть применения защитного заземления.

Защитное заземление может быть эффективно в том случае, если ток замыкания на землю не увеличивается с уменьшением сопротивления заземления. Это возможно в сетях с изолированной нейтралью, где при замыкании на землю или на заземленный корпус ток не зависит от проводимости (или сопротивления) заземления, а также в сетях напряжением выше 1000 В с заземленной нейтралью. В последнем случае замыкание на землю является коротким замыканием, причем срабатывает максимальная токовая защита. В сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В заземление неэффективно, так как даже при глухом замыкании на землю ток зависит от сопротивления заземления и с уменьшением последнего ток возрастает.

Область применения защитного заземления:

сети до 1000 В переменного тока — трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью; однофазные двух-

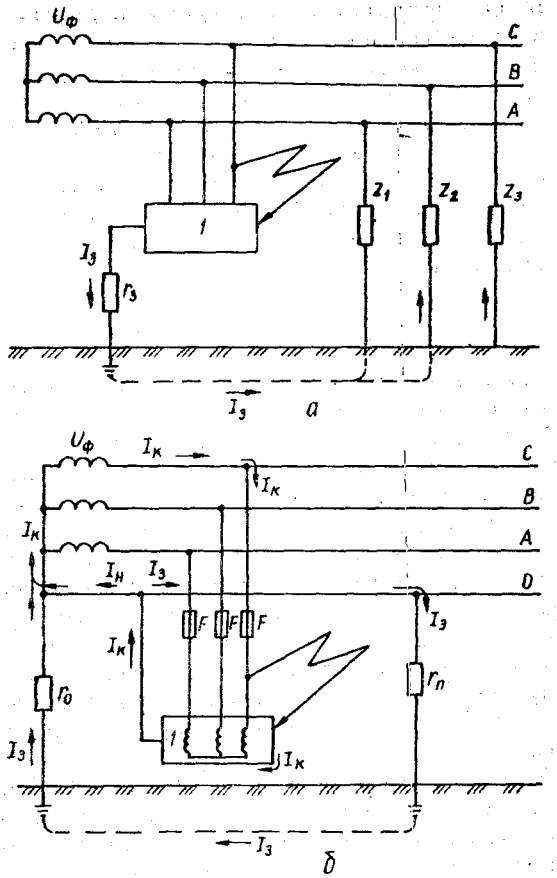


Рис. 30. Принципиальные схемы защитного заземления и зануления в трехфазных сетях:

а — заземление; *б* — зануление; *1* — корпус электроустановки; *F* — предохранители; $r_З$, r_0, $r_П$ — сопротивления заземления соответственно корпуса, нейтрали и повторного заземления нейтрали; $I_К$ — ток короткого замыкания; $I_З$ — часть тока короткого замыкания, протекающего через землю; $I_Н$ — часть тока короткого замыкания, протекающего через нулевой защитный проводник

проводные, изолированные от земли, а также постоянного тока двухпроводные с изолированной средней точкой обмоток источника тока;

сети выше 1000 В переменного и постоянного тока с любым режимом нейтральной или средней точек обмоток источников тока.

Защитному заземлению подлежит оборудование:

в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, а также в наружных установках заземление является обязательным при номинальном напряжении электроустановки выше 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока;

в помещениях без повышенной опасности заземление является обязательным при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока;

во взрывоопасных помещениях заземление выполняется независимо от значения напряжения.

Заземляющее устройство состоит из заземлителя и соединительной полосы. Различают заземлители искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления, и естественные (находящиеся в земле металлические конструкции и коммуникации другого назначения). В качестве искусственных заземлителей используют стальные трубы диаметром 35—50 мм и угловую сталь ($40 \times 40 \cdots 60 \times 60$ мм) с толщиной стенок не менее 3,5 мм (для сварки) и длиной 2,5—3 м; прутковую сталь диаметром не менее 10 мм (длиной до 10 м); стальные шины сечением не менее 100 мм^2. Вертикальные заземлители соединяют в контур полосой из стали сечением не менее 4×12 мм или круглого сечения диаметром не менее 6 мм с помощью сварки.

В качестве естественных заземлителей можно использовать: металлические конструкции и арматуру железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющих соединение с землей; проложенные в земле водопроводные трубы и свинцовые оболочки кабелей; обсадные трубы артезианских колодцев и скважин. При этом запрещается использовать в качестве естественных заземлителей трубопроводы с пожаровзрывоопасными жидкостями и газами, алюминиевые оболочки кабелей и алюминиевые проводники.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителей — проводников (электродов), соединенных между собой и находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части электроустановки с заземлителем.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

Соответственно и заземлители бывают двух типов — выносные и контурные.

Достоинством *выносного заземляющего устройства* является возможность выбора места размещения электродов заземлителя с наименьшим сопротивлением грунта (сырое, глинистое, в низинах и т. д.). Здесь заземленные корпуса находятся вне поля растекания, т. е. выносное заземление защищает только за счет малого сопротивления заземления.

Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что электроды его заземлителя размещаются по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки. Здесь любая точка поверхности грунта внутри контура имеет значительный потенциал. Вследствие этого разность потенциалов между точками, находящимися внутри контура, снижена и коэффициент прикосновения α_1 намного меньше единицы. Ток через человека, касающегося корпуса, меньше, чем при выносном заземлении.

Иногда при выполнении контурного заземления внутри контура прокладывают горизонтальные полосы, которые дополнительно выравнивают потенциалы внутри контура (заземлитель в виде сетки). Внутри помещений выравнивание потенциала происходит естественным путем за счет наличия металлических конструкций, трубопроводов, кабелей и подобных им проводящих предметов, связанных с разветвленной сетью заземления. Чтобы уменьшить напряжение шага за пределами контура, вдоль проходов и проездов в грунт закладывают специальные шины.

В зданиях прокладывают магистраль заземления (внутри здания вдоль стен), к которой присоединяют параллельно заземляющие провода от корпусов электрооборудования, подлежащего заземлению (последовательное включение заземляющего оборудования не допускается). При этом присоединение заземляющей магистрали к заземлителю (искусственному или естественному) выполняется в двух местах. Соединения заземляющих проводников между собой, а также с заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования — сваркой или с помощью болтов.

Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода приме-

няется полосовая сталь сечением 4 × 12 мм. Для установки вертикальных заземлителей предварительно роют траншею глубиной 0,7—0,8 м, после чего производят забивку труб или уголков с помощью механизмов. Верхние концы погруженных в землю вертикальных электродов соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают горизонтальные электроды (на ребро для лучшего контакта с землей).

Поскольку заземление должно обеспечивать безопасность при прикосновении к нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением, и при воздействии напряжения шага, нормированию подлежат наибольшее напряжение прикосновения внутри контура, наибольшее напряжение шага и напряжение относительно земли. Эти величины не должны превосходить длительно допустимых:

$$U_{пр} \leqslant U_{пр.\,д.\,д} \text{ и } U_{ш} \leqslant U_{ш.\,д.\,д}, \qquad (86)$$

где $U_{пр.\,д.\,д}$ — наибольшее напряжение прикосновения длительно допустимое; $U_{ш.\,д.\,д}$ — наибольшее напряжение шага длительно допустимое.

Исходя из приведенных условий можно нормировать сопротивление заземления $r_з$ и коэффициенты напряжения прикосновения α_1 и шага β_1, учитывая ток замыкания на землю $I_з$ в данной электроустановке. Расчетный ток замыкания на землю — наибольший возможный в данной электроустановке ток замыкания на землю. В сетях напряжением до 1000 В ток однофазного замыкания на землю не превышает 10 А. В электроустановках напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью расчетный ток $I_з$, А, можно определить из выражения

$$I_з = \frac{\sqrt{3}\,U_ф\,(35l_к + l_в)}{350}, \qquad (87)$$

где $U_ф$ — фазное напряжение сети, кВ; $l_к$ и $l_в$ — общая длина подключенных к сети кабельных и воздушных линий, км.

ПУЭ и ГОСТ 12.1.030—81 нормируют сопротивления заземления в зависимости от напряжения электроустановки. В электроустановках напряжением до 1000 В сопротивление заземления должно быть не выше 4 Ом или 10 Ом (если суммарная мощность источников — трансформаторов, генераторов — подключенных к сети, не превышает 100 кВ А). В электроустановках напряже-

нием выше 1000 В с большими (более 500 А) токами замыкания на землю (распредустройства и сети с заземленной нейтралью напряжением 110 кВ и выше) сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 0,5 Ом. В электроустановках напряжением выше 1000 В с малым (менее 500 А) током замыкания на землю (сети с изолированной нейтралью напряжением 3, 6, 10, 20, 35 кВ) допускается сопротивление заземления

$$r_з \leqslant 250/I_з, \tag{88}$$

но не более 10 Ом (здесь допускается напряжение относительно земли до 250 В). Если заземляющее устройство используется одновременно для электроустановок напряжением до 1000 В и выше, сопротивление заземления должно быть равно или ниже

$$r_з \leqslant 125/I_з, \tag{89}$$

но не выше нормы для электроустановки напряжением до 1000 В (4 или 10 Ом).

Контроль заземления осуществляется осмотром и измерением сопротивления заземлителей. Внешний осмотр должен производиться не реже одного раза в шесть месяцев, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — один раз в три месяца. Измерение сопротивления заземления проводится не реже одного раза в год, а также после капитального ремонта и длительного бездействия установки.

Расчет защитного заземления имеет целью определить основные параметры заземления: число, размеры и размещение одиночных заземлителей и заземляющих проводников, при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземленный корпус не превышают допустимых значений. При этом расчет производится обычно для случаев размещения заземлителя в однородной земле (способ коэффициентов использования).

Порядок расчета:

1. Уточняются исходные данные.
2. Определяется расчетный ток замыкания на землю.
3. Определяется требуемое сопротивление растеканию заземляющего устройства.
4. Определяется требуемое сопротивление искусственного заземлителя.

5. Выбирается тип заземлителя и составляется предварительная схема (проект) заземляющего устройства, то есть размещаются на плане установки принятые для сооружения заземлителя электроды и заземляющие проводники.

6. Уточняются параметры заземлителя.

Расчет простых заземлителей производится в следующей последовательности:

1. Определяется расчетный ток замыкания на землю $I_з$, А, и норма на сопротивление заземления $r_з$ (по ПУЭ) в зависимости от напряжения, режима нейтрали, мощности электроустановки.

2. Определяется расчетное удельное сопротивление грунта с учетом климатического коэффициента Ψ (табл. 8 и 9):

$$\rho_{расч} = \rho\Psi, \qquad (90)$$

где Ψ_1 принимается при большой влажности; Ψ_2 — при средней влажности грунта; Ψ_3 — при сухом грунте.

Таблица 8. **Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов (воды)**

Грунт (вода)	Удельное сопротивление ρ, 10^2 Ом·м		Грунт (вода)	Удельное сопротивление ρ, 10^2 Ом·м	
	Возможные пределы колебаний	При влажности 10—12 % к массе грунта		Возможные пределы колебаний	При влажности 10—12 % к массе грунта
Песок	4—7	7	Чернозем	0,09—5,3	2
Супесок	1,5—4	3	Речная вода	0,5	—
Суглинок	0,4—1,5	1			
Глина	0,08—0,7	0,4	Морская вода	0,002—0,01	—

3. Рассчитывается или принимается (по данным измерения) сопротивление естественных заземлителей (формулы для расчетов приведены в табл. 10).

4. Определяется сопротивление искусственного заземлителя, если считать, что искусственные и естественные заземлители соединены параллельно и общее их сопротивление не должно превышать норму $r_з$, то есть

$$r_з = \frac{R_е R_и}{R_е + R_и}, \text{ откуда } R_и = \frac{R_е r_з}{R_е - r_з}. \qquad (91)$$

Таблица 9. **Значения расчетных климатических коэффициентов сопротивления грунта**

Грунт	Глубина заложения, м	Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3
Суглинок	0,8—3,8	2	1,5	1,4
Садовая земля до глубины 0,6 м, ниже — слой глины	0—3	—	1,32	1,2
Гравий с примесью глины, ниже — глина	0—2	1,3	1,2	1,1
Известняк	0—2	2,5	1,51	1,2
Гравий с примесью песка	0—2	1,5	1,3	1,2
Торф	0,2	1,4	1,1	1
Песок	0—2	2,4	1,56	1,2
Глина	0—2	2,4	1,36	1,2

5. По формулам табл. 10 определяется сопротивление одного вертикального заземлителя $R_{в.з}$ с учетом расчетного удельного сопротивления грунта $\rho_{расч}$.

6. Предварительно разместив заземлители на плане, определяют число вертикальных заземлителей n и расстояния между ними a, м, и по этим данным принимают коэффициент использования вертикальных стержней $\eta_{ст}$ при отношении расстояния между электродами (трубами, уголками) к их длине:

при $a/l = 1$ для $n = 2...5$ $\eta_{ст} = 0,87...0,67$, для $n = 10$ $\eta_{ст} = 0,56...0,62$, для $n = 15$ $\eta_{ст} = 0,51...0,56$, для $n = 20$ $\eta_{ст} = 0,47...0,5$;

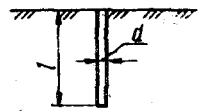
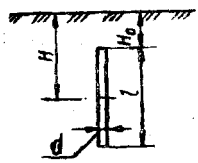
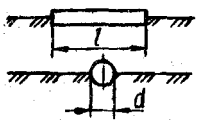
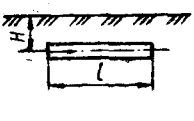
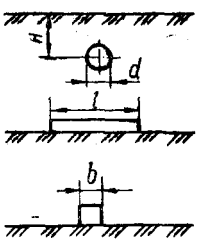
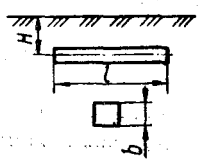
при $a/l = 2$ для $n = 2...5$ $\eta_{ст} = 0,92...0,83$, для $n = 10$ $\eta_{ст} = 0,72...0,77$, для $n = 15$ $\eta_{ст} = 0,66...0,75$, для $n = 20$ $\eta_{ст} = 0,65...0,7$;

при $a/l = 3$ для $n = 2...5$ $\eta_{ст} = 0,93...0,85$, для $n = 10$ $\eta_{ст} = 0,79...0,83$, для $n = 15$ $\eta_{ст} = 0,76...0,8$, для $n = 20$ $\eta_{ст} = 0,74...0,79$.

7. Определяется сопротивление соединительных полос (по одной из формул табл. 10) с учетом коэффициента использования полосы $\eta_п$, который имеет следующие значения:

	Число труб (уголков) заземлителя						
	4	8	10	20	30	50	60
При расположении полосы в ряду труб (уголков)							
1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,2
2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,27
3	0,92	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,36

Таблица 10. **Формулы для вычисления сопротивления наиболее распространенных одиночных заземлителей растеканию тока**

Тип заземлителя	Схема	Формула	Дополнительные указания
Трубчатый или стержневой у поверхности грунта		$r_з = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$l \gg d$
Трубчатый или стержневой в грунте		$r_з = \frac{\rho}{2\pi l} \times \times \left(\ln \frac{2l}{d} + \right.$ $\left. + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right)$	$H_0 > 0{,}5$ м
Протяженный круглого сечения (труба, кабель) на поверхности грунта		$r_з = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$l \gg d$
Протяженный круглого сечения в грунте		$r_з = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{dH}$	$\frac{l}{H} \geqslant 5$
Протяженный полосовой на поверхности грунта		$r_з = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{b}$	$l \gg b$
Протяженный — полоса в грунте		$r_з = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bH}$	$\frac{l}{H} \geqslant 5$

При расположении полосы по контуру труб (уголков)

1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,2
2	0,55	0,43	0,4	0,32	0,3	0,28	0,27
3	0,7	0,6	0,56	0,45	0,41	0,37	0,36

8. Определяется сопротивление стержней $R_{ст}$ (вертикальных заземлителей) с учетом параллельного соединения искусственных заземлителей $R_и$ и полосы, то есть

$$R_п = \frac{R_{ст}R_и}{R_{ст} + R_и}, \text{ откуда } R_{ст} = \frac{R_п R_и}{R_п - R_и}. \quad (92)$$

9. Определяется (уточняется) число вертикальных заземлителей по формуле

$$n = \frac{R_{ст.\,од}}{R_{ст}\eta_{ст}}. \quad (93)$$

10. Повторно проверяют сопротивление заземления по приведенным выше формулам.

В сетях с большими токами замыкания на землю заземляющие устройства проверяют на термическую стойкость; при этом заземлители должны удовлетворять следующим требованиям:

$$S > 0{,}00012\sqrt{\rho t}, \quad (94)$$

где S — поверхность соприкосновения заземлителя с грунтом, м^2; ρ — удельное сопротивление грунта в наиболее сухой период, Ом · м; t — длительность замыкания на землю во время срабатывания защиты, с;

заземляющие проводники должны удовлетворять условию

$$S \geqslant \sqrt{\frac{I_з^2 t}{a\Theta}}, \quad (95)$$

где a — постоянный множитель (для стали $a = 21$, алюминия $a = 74$, меди $a = 172$); Θ — допускаемая температура кратковременного нагрева (для стали $\Theta = 400$ °С).

Зануление. *Занулением* называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным провод-

ником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Нулевой защитный проводник — это проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом.

Зануление применяется в четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью. С целью уменьшения длительности режима замыкания на корпус прокладывается нулевой провод, соединяющийся с заземленной нейтралью источника и повторными заземлениями. При занулении корпуса электрооборудования соединяются не с заземлителями, а с нулевым проводом (рис. 30).

Зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает максимальная токовая защита и селективно отключает поврежденный участок сети. Кроме того, зануление снижает потенциалы корпусов, появляющиеся в момент замыкания на землю (на время, пока не срабатывает отключающий аппарат — предохранители или автомат). При замыкании на зануленный корпус ток короткого замыкания проходит через следующие участки цепи (цепь зануления имеет весьма малое сопротивление — доли ом): обмотки трансформатора, фазный и нулевой провод. Значение тока определяется фазным напряжением $U_ф$ и полным сопротивлением цепи короткого замыкания:

$$I_к = \frac{U_ф}{Z_т/3 + Z_ф + Z_н}, \qquad (96)$$

где $Z_т$ — полное сопротивление трансформатора, Ом; $Z_ф$, $Z_н$ — полное сопротивления фазного и нулевого проводов, Ом. Эти сопротивления имеют активную и индуктивную составляющие, то есть $Z_п = Z_ф + Z_н + jX_п$ — комплекс полного сопротивления петли фаза-нуль, Ом.

Допустимо применять приближенную формулу для действительного значения (модуля) тока короткого замыкания $I_к$, А, в котором модули сопротивлений трансформатора и петли фаза-нуль $Z_т$ и $Z_п$ (в омах) складываются арифметически:

$$I_к = \frac{U_ф}{Z_т/3 + Z_п}. \qquad (97)$$

Величина $Z_п$ состоит из ряда последовательно включенных сопротивлений, Ом:

$$Z_п = \sqrt{(R_ф + R_н)^2 + (X_ф + X_н + X_п)^2}, \qquad (98)$$

где $X_п$ — внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, Ом.

Зануление рассчитывается для определения условий, при которых оно надежно выполняет свои задачи — быстро отключает поврежденную установку от сети и в то же время обеспечивает безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период. В соответствии с этим зануление рассчитывается на отключающую способность, а также на безопасность прикосновения к корпусу как при замыкании фазы на землю (расчет заземления нейтрали), так и при замыкании ее на корпус (расчет повторного заземления нулевого защитного проводника).

Расчет зануления на отключающую способность. При замыкании фазы на зануленный корпус электроустановка автоматически отключается, если значение тока однофазного короткого замыкания $I_к$, А, удовлетворяет условию $I_к \geqslant kI_{ном}$, или

$$\frac{U_ф}{Z_т/3 + \sqrt{(R_ф + R_н)^2 + (X_ф + X_н + X_п)^2}} \geqslant kI_{ном}, \qquad (99)$$

где k — коэффициент кратности тока (для плавких предохранителей $k \geqslant 3$ и во взрывоопасных помещениях $k \geqslant 4$; для автоматов $k = 1{,}4$ при $I_н < 100$ А и $k = 1{,}25$ при $I_н \geqslant 100$ А); $I_{ном}$ — номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автоматического выключателя (автомата), А.

Сечение нулевого защитного проводника и его материал, согласно ПУЭ, принимаются заранее из условия, чтобы полная проводимость его была не менее 50 % полной проводимости фазного провода ($Z_н \leqslant 2Z_ф$). При расчетах по формуле (99) значения $Z_т$ берутся из справочных таблиц (в зависимости от мощности трансформатора, напряжения и схемы соединения его обмоток). Значения $R_ф$ и $R_н$, Ом, определяются по сечению S, мм^2, длине l, м, и материалу проводников ρ (для меди $\rho = 0{,}018$; для алюминия — 0,028 Ом · мм^2/м):

$$R_{ф(н)} = \frac{\rho l}{S}. \qquad (100)$$

Значения $X_ф$ и $X_в$ для медных и алюминиевых проводников сравнительно малы (около 0,0156 Ом/км), поэтому ими можно пренебречь. Значение $X_п$, Ом, может быть определено из выражения

$$X_п = \omega L = 0{,}1256 \ln \frac{2D}{d}, \qquad (101)$$

где D и d — расстояние между проводами и их диаметр, м. При малых значениях D, соизмеримых с диаметром проводов d, сопротивление $X_п$ незначительно (не более 0,1 Ом/км) и им можно пренебречь.

Расчет сопротивления заземления нейтрали. Сопротивление заземления нейтрали источника тока r_0, Ом, должно быть таким, чтобы в случае замыкания какой-либо фазы на землю через сопротивление $r_{зм}$, Ом, напряжение, под которым окажется человек, прикоснувшийся к зануленному корпусу или к нулевому защитному проводу, не превышало некоторого допустимого напряжения прикосновения $U_{пр.\ доп}$, то есть

$$U_к \alpha_1 \alpha_2 \leqslant U_{пр.\ доп}, \qquad (102)$$

где $U_к = I_з r_0$ — напряжение зануленного корпуса (нулевого защитного проводника) относительно земли, В; $I_з$ — ток замыкания на землю, А.

Обычно рассматривают наиболее тяжелые реальные условия, когда человек, касаясь зануленного корпуса, находится за пределами зоны растекания тока замыкания на землю (то есть $\alpha_1 = 1$); сопротивление растеканию ног человека незначительно по сравнению с сопротивлением тела человека R_h и их можно пренебречь (то есть $\alpha_2 = 1$); в сети отсутствуют повторные заземления нулевого защитного проводника. Тогда $U_{пр.\ доп} \geqslant I_з r_0 = U_ф \frac{r_0}{r_0 + r_{зм}}$, откуда

$$r_0 = r_{зм} \frac{U_{пр.\ доп}}{U_ф - U_{пр.\ доп}}, \qquad (103)$$

где $U_{пр.\ доп} = 42$ В; $r_{зм} = 15$ Ом.

Согласно требованиям Правил техники безопасности, сопротивление заземления нейтрали источника тока (генератора, трансформатора) в любое время года должно быть не более 8 Ом при напряжении 220/127 В, 4 Ом при 380/220 В и 2 Ом при 660/380 В. При удельном элек-

трическом сопротивлении земли ρ, превышающем 100 Ом · м, допускается увеличивать указанные значения до значений $\rho/100$, но не более чем в 10 раз.

Расчет сопротивления повторного заземления нулевого защитного проводника. До срабатывания защиты на всех элементах цепи зануления кратковременно появляется напряжение. Повторные заземления предназначаются для снижения этого напряжения как при исправном (целом), так и при неисправном (имеющем разрыв) нулевом защитном проводе. Повторные заземлители, устанавливаемые на воздушных линиях через 200 м, на всех ответвлениях длиной более 250 м и на вводах в здания, нормируются ПУЭ.

При замыкании фазы на корпус защитный проводник на участке за ближайшим к месту замыкания повторным заземлением и зануленное оборудование (присоединенное к этому участку провода) оказываются под некоторым напряжением относительно земли, наибольшее значение которого, В,

$$U_{\text{н. max}} = \frac{I_{\text{з}}}{n} r_{\text{п}}, \qquad (104)$$

где $I_{\text{з}}$ — часть тока однофазного короткого замыкания, стекающая в землю через повторные заземления нулевого провода, А; n — количество повторных заземлений нулевого провода, шт; $r_{\text{п}}$ — сопротивление одного повторного заземления, Ом.

Для устранения опасности поражения людей током до момента отключения защитой поврежденной установки необходимо, чтобы $U_{\text{н.max}}$ не превышало $U_{\text{пр.доп}}$. Очевидно, это условие будет выполнено при определенном значении $r_{\text{п}}$, которое может быть найдено из выражения

$$U_{\text{пр. доп}} \geqslant U_{\text{н. max}} = \frac{I_{\text{з}}}{n} r_{\text{п}} = \frac{I_{\text{н}} Z_{\text{н}}}{(r_0 + rn/n)\, n} r_{\text{п}},$$

откуда

$$r_{\text{п}} \leqslant n r_0 \frac{U_{\text{пр. доп}}}{I_{\text{н}} Z_{\text{н}} - U_{\text{пр. доп}}}, \qquad (105)$$

где $I_{\text{н}}$ — часть тока однофазного короткого замыкания, проходящая по нулевому проводу от места замыкания

фазы на корпус до нейтральной точки источника тока, А;

$$Z_н = \sqrt{R_н^2 + (X_н + 0{,}5X_п)^2},\ \text{Ом}.$$

Принимая $I_н = I_к$, получаем выражение

$$r_п \leqslant nr_0 \frac{U_{пр.\,доп}}{I_к Z_н - U_{пр.\,доп}}. \qquad (106)$$

В простейшем случае, когда $X_н = X_п = 0$, и с учетом того, что $I_к Z_н = 2/3U_ф$, уравнение (106) принимает вид

$$r_п \leqslant nr_0 \frac{U_{пр.\,доп}}{2/3U_ф - U_{пр.\,доп}}. \qquad (107)$$

Согласно Правилам техники безопасности, общее сопротивление растеканию тока заземлителей всех повторных заземлений нулевого провода каждой воздушной линии в наиболее неблагоприятное время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В соответственно. При этом сопротивление растеканию тока каждого из повторных заземлений не должно превышать 15, 30 и 60 Ом при тех же напряжениях.

Измерение сопротивления петли фаза-нуль необходимо проводить при приемосдаточных испытаниях периодически (один раз в пять лет), а также при капитальных ремонтах и реконструкциях сети. Эти измерения должны производиться на наиболее мощных и наиболее удаленных от источника тока электроприемниках, но не менее чем на 10 % их общего количества.

Защитное отключение. Защитное отключение — быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека током. Такая опасность может возникнуть при замыкании фазы на корпус, снижении сопротивления изоляции сети ниже определенного предела и, наконец, в случае прикосновения человека непосредственно к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Защитное отключение применяется в тех случаях, когда другие защитные мероприятия (заземление, зануление) ненадежны, трудно осуществимы (в условиях

вечной мерзлоты и т. п.), дороги или когда к безопасности обслуживания предъявляются повышенные требования (в шахтах, карьерах), а также при передвижных электроустановках. Область применения устройств защитного отключения практически не ограничена: они могут применяться в сетях любого напряжения и с любым режимом нейтрали. Однако наибольшее распространение устройства защитного отключения получили в сетях до 1000 В (с заземленной и изолированной нейтралью). Защитное отключение является незаменимым для ручных электроинструментов.

Во всех этих случаях опасность поражения обусловлена напряжением прикосновения $U_{пр}$ или током, проходящим через человека ($U_{пр} = I_h R_h$). Основными элементами устройств защитного отключения являются прибор защитного отключения и автомат. Прибор защитного отключения состоит из отдельных элементов, которые воспринимают входную величину, реагируют на ее изменения и при заданном ее значении дают сигнал на отключение выключателя. Этими элементами являются: датчик — входное устройство (как правило, реле соответствующего типа); усилитель, усиливающий сигнал датчика; цепи контроля; вспомогательные элементы (сигнальные лампы и измерительные приборы — омметры и др.).

Основные требования, которым должны удовлетворять устройства защитного отключения, такие: высокая чувствительность; малое время отключения; селективность действия; способность осуществлять самоконтроль исправности; достаточная надежность.

В зависимости от принятых входных (контролируемых) величин устройства защитного отключения условно делятся на следующие типы: реагирующие на потенциал (напряжение) корпуса относительно земли, ток замыкания на землю, напряжение нулевой последовательности, ток нулевой последовательности, напряжение фазы относительно земли, оперативный ток, вентильные схемы.

Рассмотрим некоторые из перечисленных типов устройств защитного отключения (рис. 31).

1. Устройства, реагирующие на потенциал корпуса. Назначение этих устройств защитного отключения — устранение опасности поражения людей током при возникновении на заземленном или зануленном корпусе по-

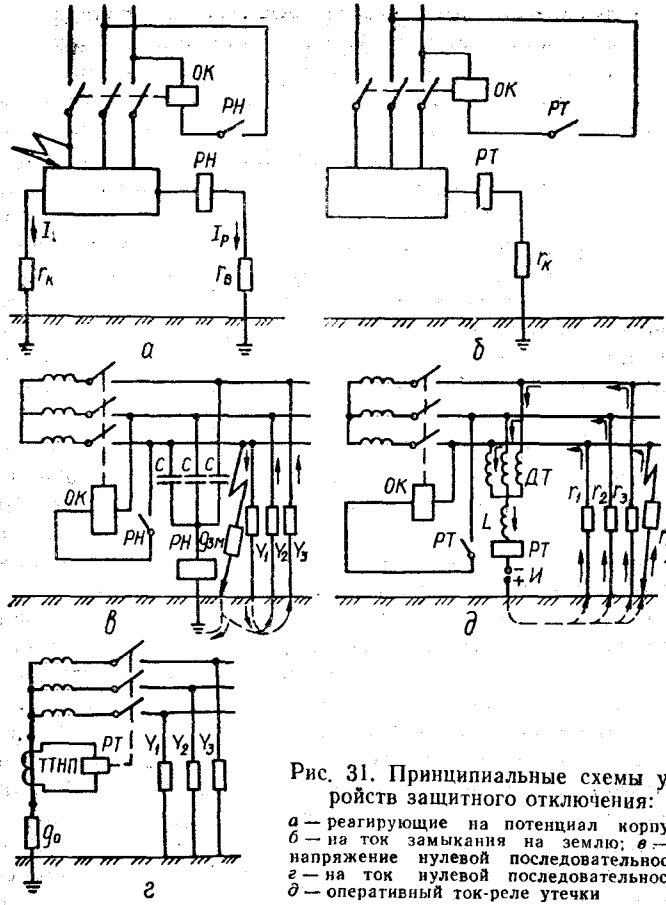


Рис. 31. Принципиальные схемы устройств защитного отключения:

а — реагирующие на потенциал корпуса; *б* — на ток замыкания на землю; *в* — на напряжение нулевой последовательности; *г* — на ток нулевой последовательности; *д* — оперативный ток-реле утечки

вышенного потенциала. Обычно эти устройства являются дополнительной мерой защиты к заземлению или занулению.

Принцип действия — быстрое отключение от сети поврежденного оборудования, если возникший на его корпусе потенциал $\varphi_к$, В, окажется выше потенциала $\varphi_{к.доп}$, В, при котором напряжение прикосновения к корпусу имеет наибольшее длительно допустимое значение $U_{пр.доп}$, В.

На рис. 31 показана принципиальная схема такого устройства, в которой датчиком служит реле максимального напряжения, включенное между защищаемым кор-

пусом и вспомогательным заземлителем *2* (непосредственно или через трансформатор напряжения). Электроды вспомогательного заземлителя должны быть размещены вне зоны растекания токов, стекающих с заземлителя *1* корпуса или заземлителей нулевого проводника сети. При пробое фазы на заземленный или зануленный корпус вначале проявляется защитное свойство заземления (или зануления), снижающее потенциал корпуса до некоторого предела ($\varphi_к = I_з r_к$, где $I_з$ — ток, стекающий в землю, А; $r_к$ — сопротивление заземления корпуса, а при занулении — сопротивление повторных заземлений нулевого проводника, Ом). Если $\varphi_к$ превысит $\varphi_{к.доп}$, сработает устройство защитного отключения, то есть произойдет отключение поврежденной установки от сети.

2. Устройство, реагирующее на ток замыкания на землю. Назначение — устранение опасности поражения током людей при прикосновении к заземленному корпусу в период замыкания на него фазы. Принцип действия — быстрое отключение поврежденного оборудования от сети в случае, если ток, проходящий через проводник, заземляющий корпус этого оборудования, превысит некоторый предел $I_{з.доп}$, А, при котором напряжение прикосновения имеет наибольшее длительно допустимое значение $U_{пр.доп}$, В (рис. 31, *б*). Здесь датчиком служит токовое реле, обладающее малым сопротивлением и включенное непосредственно в рассечку заземляющего провода или во вторичную обмотку трансформатора тока, который применяется при большом токе замыкания на землю. При замыкании фазы на корпус ток, стекающий в землю, если он превышает уставку, вызывает срабатывание реле, то есть отключение установки от сети. В схемах, применяемых в системах зануления, токовое реле включается в рассечку зануляющих проводников и срабатывает под действием однофазного короткого замыкания. Такие устройства отличаются четкостью срабатывания.

3. Устройства, реагирующие на напряжение нулевой последовательности. Назначение этих устройств защитного отключения — устранение поражения током, возникающего при глухом замыкании одной или двух фаз на землю, в том числе при замыкании фазы на заземленный корпус. Принцип действия — быстрое отключение сети от источника питания при возникновении

напряжения нулевой последовательности, то есть несимметрии полных проводимостей проводов сети относительно земли выше некоторого предела (рис. 31, *в*). Здесь датчиком служит фильтр напряжения нулевой последовательности, состоящий их трех конденсаторов, соединенных в звезду. Реле напряжения, включенное между нулевой точкой фильтра и землей, срабатывает, когда напряжение нулевой последовательности (то есть напряжение между нейтральной точкой источника тока и землей U_0) достигает значения, при котором напряжение на зажимах реле становится равным или превышает напряжение срабатывания его $U_{ср}$. При этом происходит отключение сети от источника. Область применения таких устройств защитного отключения — трехфазные трехпроводные сети до 1000 В с изолированной нейтралью и малой протяженностью, обладающие высоким сопротивлением изоляции и небольшой емкостью относительно земли.

4. Устройства, реагирующие на ток нулевой последовательности. Назначение устройств защитного отключения этого типа — обеспечить безопасность человека в случае прикосновения к заземленному (зануленному) корпусу при замыкании на него фазы или к токоведущей части, находящейся под напряжением. Принцип действия — быстрое отключение участка сети или потребителя энергии, если ток нулевой последовательности превышает некоторое значение, при котором напряжение прикосновения к «пробитому» корпусу или токоведущей части, находящейся под напряжением, имеет наибольшее длительно допустимое значение $U_{пр.доп}$. Здесь датчиком может служить фильтр тока нулевой последовательности, который представляет собой три однотипных трансформатора тока, установленных на всех фазах сети. Одноименные зажимы их вторичных обмоток соединены параллельно и к ним подключена обмотка токового реле. В результате через реле проходит ток, равный геометрической сумме вторичных токов трансформаторов. Этот ток, достигнув значения тока срабатывания реле или превысив его, вызовет отключение защищаемого участка сети от источника питания (рис. 31, *г*).

5. Устройства, реагирующие на оперативный ток (рис. 31, *д*). Назначение данного устройства защитного отключения, реагирующего на оперативный ток,— обеспечивать непрерывный автоматический контроль сопро-

тивления изоляции сети, а также защиту человека, прикоснувшегося к токоведущей части, от поражения током. Следовательно, этот тип устройства защитного отключения (реле утечки) может служить самостоятельной мерой защиты от поражения током при прикосновении к «пробитому» незаземленному и незануленному корпусу или к токоведущей части, находящейся под напряжением. Оно может также служить дополнительной защитной мерой к защитному заземлению (этот принцип используется в шахтах, карьерах и др.).

Принцип действия — быстрое отключение сети от источника тока при снижении сопротивления изоляции сети относительно земли ниже некоторого предела, при котором ток I_h через человека, прикоснувшегося к токоведущей части (или напряжение прикосновения), достигает наибольшего длительно допустимого значения $I_{h\text{доп}}$ (или $U_{\text{пр.доп}}$). Здесь датчиком служит реле с малым током срабатывания (несколько миллиампер). Применяются и другие схемы защитного отключения.

11.6. Электрозащитные средства и предохранительные приспособления

Следует всегда помнить, что при наличии напряжения недопустимо проникновение людей за ограждения электроустановок, а при отсутствии ограждений необходимо выдерживать минимальное расстояние, на которое допускается приближение к токоведущим частям: при напряжении до 15 кВ — 0,7 м; от 15 до 35 кВ — 1 м; от 35 до 110 кВ — 1,5 ; от 110 до 220 кВ — 2,5 м; от 220 до 500 кВ — 4,5 м.

Согласно стандарту, *электрозащитными средствами* называются переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, воздействия электрической дуги и электромагнитного поля.

Защитные средства могут быть условно разделены на три группы: изолирующие, ограждающие и предохранительные.

Изолирующие защитные средства изолируют человека от токоведущих или заземленных частей, а также от земли. Они делятся на основные и дополнительные.

Основные изолирующие защитные средства обладают изоляцией, способной длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому ими разрешается касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением. К ним относятся: в электроустановках напряжением свыше 1000 В — изолирующие штанги, изолирующие и измерительные клещи, указатели напряжения, а также средства для ремонтных работ под напряжением свыше 1000 В; в электроустановках напряжением до 1000 В — изолирующие штанги, изолирующие и измерительные клещи, диэлектрические перчатки, монтерский инструмент с изолирующими рукоятками, указатели напряжения.

Дополнительные изолирующие защитные средства обладают изоляцией, не способной выдержать рабочее напряжение электроустановки, и поэтому они не могут самостоятельно защитить человека от поражения электрическим током. Их назначение — усилить защитное действие основных изолирующих защитных средств. К дополнительным изолирующим защитным средствам относятся: в электроустановках напряжением свыше 1000 В — диэлектрические перчатки, боты, ковры, изолирующие подставки; в электроустановках напряжением до 1000 В — диэлектрические галоши, ковры, изолирующие подставки.

Ограждающие защитные средства предназначены для временного ограждения токоведущих частей, к которым возможно случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние, а также для предупреждения ошибочных операций с коммутационными аппаратами. К ним относятся: временные переносные заземления (закоротки), временные переносные ограждения (щиты и ограждения — клетки), изолирующие накладки, предупредительные плакаты.

Переносные заземления изготовляют из гибкого медного провода сечением не менее 25 мм^2 для электроустановок напряжением свыше 1000 В и 16 мм^2 — до 1000 В.

Предупредительные плакаты делятся на предостерегающие, запрещающие, разрешающие и напоминающие. Предостерегающие (постоянные) плакаты («Осторожно! Электрическое напряжение!») укрепляют на дверях камер, ограждений. Запрещающий (переносной) плакат («Не включать, работают люди!») вывешивается на клю-

чах и рукоятках управления. Разрешающий (переносной) плакат («Работать здесь», «Влезать здесь») устанавливается на месте работ. Напоминающий (переносной) плакат («Заземлено») устанавливается на ключах и рукоятках управления.

Предохранительные защитные средства предназначены для индивидуальной защиты работающего от световых, тепловых и механических воздействий, от продуктов горения, от воздействия электрического поля, а также от падения с высоты. К ним относятся: защитные очки, защитные каски, предохранительные монтерские пояса, страховочные канаты, монтерские когти, противогазы, специальные рукавицы, а также индивидуальные экранирующие комплекты и переносные экранирующие устройства для защиты персонала от воздействия электрического поля в электроустановках сверхвысокого напряжения промышленной частоты.

11.7. Организация безопасной эксплуатации электроустановок

Оперативное обслуживание действующих электроустановок предприятий предусматривает периодические и внеочередные осмотры электрооборудования систем электроснабжения и электроприемников, контроль и учет электроэнергии, оперативные переключения в электросетях, обеспечивающие бесперебойное снабжение электроэнергией. Оперативное обслуживание электроустановок осуществляется инженерно-техническим, дежурным и оперативно-ремонтным электротехническим персоналом.

Оперативное обслуживание может осуществляться как одним лицом, так и бригадами из двух человек и более. При обслуживании электроустановок с напряжением свыше 1000 В старший в смене (бригадир) или одиночный дежурный должен иметь квалификационную группу по технике безопасности не ниже IV, а в электроустановках напряжением до 1000 В — не ниже III группы.

Помимо дежурного (оперативно-ремонтного) персонала единоличный осмотр электроустановок разрешается административно-техническому персоналу службы эксплуатации, имеющему квалификационную группу V (в установках напряжением до 1000 В — IV группу).

При осмотре электроустановок с напряжением свыше 1000 В одним лицом не разрешается проникать за ограждения и входить в камеры распределительного устройства (РУ). Осматривать электрооборудование следует только с порога камеры или стоя перед барьером. В случае необходимости дежурному, имеющему квалификационную группу не ниже IV, разрешается для осмотра вход в камеру РУ при условии, что в проходах расстояние от пола до нижних фланцев изоляторов аппаратов (трансформаторов и др.) не менее 2 м, а до неогражденных токоведущих частей — не менее 2,75 м при напряжении до 35 кВ. Если эти расстояния меньше, то вход за ограждения допускается только в присутствии второго лица с квалификационной группой не ниже III. При обнаружении во время осмотра случайного замыкания какой-либо токоведущей части электроустановки на землю запрещается до отключения поврежденного участка приближаться к месту такого замыкания на расстояние менее 4 м в закрытых РУ и 8 м на открытых подстанциях во избежание поражения напряжением шага. В случае необходимости приближения (для оказания первой помощи пострадавшему или выполнения операций с коммутационной аппаратурой) следует применить средства защиты (диэлектрические боты, галоши).

Самостоятельное единоличное обслуживание электроустановок напряжением до 1000 В, включая периодические осмотры, проверки, измерения и текущий ремонт, разрешается рабочим-электрикам, имеющим квалификационную группу не ниже III. Во время осмотра цехового электрооборудования запрещается выполнять какие-либо работы на этом оборудовании, за исключением работ, связанных с предупреждением аварии или несчастного случая. Также запрещается снимать ограждения токоведущих и вращающихся частей, касаться токоведущих частей и приближаться к ним на опасное расстояние. Дежурному электрику разрешается при необходимости открывать для осмотра дверцы распределительных шкафов, щитков, пусковых устройств и т. п., соблюдая при этом особую осторожность.

Смена сгоревших плавких вставок предохранителей, как правило, должна выполняться при снятом напряжении. Смену плавких вставок закрытых (пробочных, трубчатых) предохранителей допускается производить под напряжением, но при отключенной нагрузке. Эта работа

должна выполняться в электроустановках напряжением до 1000 В в диэлектрических перчатках и предохранительных очках, а в установках напряжением свыше 1000 В — при помощи изолирующих клещей и также в перчатках и очках.

Если цеховое электрооборудование было отключено по заявке эксплуатационного неэлектротехнического персонала для каких-либо ремонтных работ, то последующее его включение может быть произведено только по требованию лица, которым была дана заявка на отключение, или лица, сменившего его. Перед включением силовой электроустановки после ремонта дежурный электрик обязан ее осмотреть и убедиться в готовности электрооборудования к приему напряжения и предупредить рабочих о предстоящем включении.

Оперативные переключения в РУ подстанций промышленных предприятий производятся дежурным или оперативно-ремонтным персоналом по распоряжению или с ведома вышестоящего дежурного электротехнического персонала. Распоряжение о переключениях может быть передано устно или по телефону с записью его в оперативном журнале. Только в случаях, не терпящих отлагательства (авария, пожар, несчастный случай), допускаются переключения без ведома вышестоящего оперативного персонала, но с последующим его уведомлением и записью выполненных операций в оперативном журнале.

Список лиц, имеющих право производить оперативные переключения, утверждается главным энергетиком предприятия. В РУ напряжением свыше 1000 В сложные оперативные переключения, производимые более чем на одном присоединении, должны выполняться двумя лицами. Одному лицу разрешается выполнять переключения только в электроустановках, оборудованных блокировками разъединителей, не допускающими их отключения под нагрузкой (при включенном выключателе). Одному дежурному разрешается также производить переключения в РУ напряжением до 1000 В.

Сложные переключения выполняются по специальным бланкам переключений, куда записывают назначение предполагаемых переключений, порядок операций с коммутационными аппаратами и приборами, а также действия по проверке отсутствия или наличия напряжения, наложению переносных заземлений и т. п. Бланк

заполняется дежурным, получившим распоряжение о переключениях (его подписывают оба участника переключений). Во избежание ошибочного включения после ремонта или испытания необходимо включать установку только после приемки ее дежурным или оперативно-ремонтным персоналом от ответственного руководителя ремонтных или наладочных работ.

Согласно требованиям Правил техники безопасности, работы, производимые в действующих электроустановках, в отношении принятия мер безопасности разделяются на следующие четыре категории:

1. Работы, выполняемые при полном снятии напряжения, производимые в электроустановках, где со всех токоведущих частей (в том числе и вводов) снято напряжение, нет незапертого входа в помещения, в которых размещены электроустановки, находящиеся под напряжением (ревизия и очистка аппаратуры распредустройств, текущий ремонт силового трансформатора и т. п.).

2. Работы, выполняемые при частичном снятии напряжения, производимые в электроустановках в помещении, где снято напряжение только с тех присоединений, на которых производится работа, или где напряжение полностью снято, но есть незапертый вход в помещение соседней электроустановки, находящейся под напряжением.

3. Работы, выполняемые без снятия напряжения вблизи токоведущих частей и на токоведущих частях электроустановок, находящихся под напряжением (с помощью специальных приспособлений и средств защиты) — вывешивание плакатов и надписей, замена перегоревших ламп, взятие пробы и доливка масла в баки трансформаторов и выключателей, уход за электрощетками и коллекторами работающих электрических машин, измерения токоизмерительными клещами и др.

4. Работы, выполняемые без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, при которых исключены случайное прикосновение или приближение к токоведущим частям на опасное расстояние (чистка от пыли кожухов электрооборудования, ремонт и окраска стен электропомещений, уборка электропомещений и др.).

До начала ремонтных или наладочных работ необходимо выполнить технические и организационные мероприятия по обеспечению электробезопасности работающих.

Технические мероприятия:

отключение ремонтируемого электрооборудования и принятие мер против ошибочного его обратного включения или самовключения;

установка временных ограждений неотключенных токоведущих частей и вывешивание запрещающих плакатов «Не включать — работают люди», «Не включать — работа на линии» и др.;

присоединение переносного заземления-закоротки к заземляющей шине стационарного заземляющего устройства и проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях, которые для безопасности производства работ подлежат замыканию накоротко и заземлению;

наложение переносных заземлений на отключенные токоведущие части электроустановки сразу после проверки отсутствия напряжения или включение специальных заземляющих ножей разъединителей, имеющихся в РУ;

ограждение рабочего места и вывешивание на нем разрешающего плаката «Работать здесь».

Перечисленные технические мероприятия выполняет (в указанной последовательности) допускающий к работе по разрешению лица, отдающего распоряжение на производство работ. Допускающим к работе в электроустановках может быть лицо из числа дежурного или оперативно-ремонтного персонала в электроустановках напряжением до 1000 В с квалификационной группой не ниже III, а в установках напряжением свыше 1000 В — с IV группой.

Организационные мероприятия по обеспечению безопасного производства работ в электроустановках: оформление работы нарядом или распоряжением; оформление в наряде допуска рабочих к работе; надзор во время работы; оформление в наряде перерывов в работе и переходов бригады на другое рабочее место; оформление в наряде окончания работ, закрытие наряда.

Оформление наряда требуется на те работы, которые производятся с полным или частичным снятием напряжения с ремонтируемой электроустановки, а также на работы, выполняемые без снятия напряжения вблизи или непосредственно на токоведущих частях, находящихся под напряжением. Наряд — письменное задание на работу в электроустановке, оформленное на бланке установленной формы, где указываются место, время начала и окон-

чания работы, условия ее безопасного проведения, состав бригады и лиц, ответственных за безопасность работы. Наряд выписывается в двух экземплярах, из которых один должен находиться у производителя работ, а другой — у дежурного персонала данной электроустановки. Срок действия наряда не должен превышать пяти дней. Срок хранения наряда — один месяц.

Другой вид задания на работу в электроустановках — *распоряжение, оформленное в оперативном журнале.* Право выдачи наряда или распоряжения на производство работ в электроустановках предоставляется начальнику электроцеха, начальнику службы эксплуатации, мастеру, уполномоченным на это распоряжением главного энергетика предприятия. Эти лица должны иметь квалификационную группу не ниже V в электроустановках напряжением свыше 1000 В и не ниже IV — до 1000 В.

В порядке текущей эксплуатации могут производиться следующие виды работ:

работы без снятия напряжения с токоведущих частей вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением, продолжительностью не более одной смены;

при необходимости небольшие по объему работы продолжительностью до 1 ч с полным или частичным снятием напряжения и без снятия напряжения вблизи или на самых токоведущих частях, находящихся под напряжением;

некоторые виды работ в электроустановках напряжением до 1000 В с полным или частичным снятием напряжения продолжительностью не более одной смены.

Учебно-поисковая задача

Возможны ли совместные защитные заземляющие устройства установок разных напряжений и почему?

При формулировании ответа на поставленный вопрос можно указать следующее.

Защитные заземляющие устройства установок разных напряжений (до 1000 В и выше) вследствие разных значений токов замыкания на землю, проходящих через них, оказываются под разными потенциалами: на заземленных частях установок напряжением до 1000 В возникающий потенциал не превышает нескольких десятков вольт, а на заземленных частях установок напряжением свыше 1000 В он может достигать нескольких киловольт. Это обстоятельство предполагает раздельное сооружение заземляющих устройств для установок разных напряжений.

Однако наличие в одном цехе или на одной площадке оборудования разных напряжений вынуждает размещать заземляющие проводники разных заземляющих устройств по соседству либо на одних и тех же связанных конструкциях и т. п. Вследствие этого в обычных условиях практически невозможно избежать непреднамеренных соединений между этими проводниками. В редких случаях, когда необходимая изоляция достигнута, возникает угроза поражения человека из-за возможности одновременного прикосновения в аварийный период к двум предметам, связанным с разными заземляющими устройствами и обладающими поэтому разными потенциалами. По указанным причинам заземляющие устройства установок разных напряжений, размещаемых на одной территории, выполняются совместно как единое целое.

Пример 9. Определить ток, проходящий через тело человека, коснувшегося зануленного корпуса в момент замыкания, и допустимое время срабатывания защиты. Исходные данные: $U_ф = 220$ В; $Z_{н.п} = 2Z_ф$; $R_п = R_0$; $Z_т \to 0$ (сопротивление обмоток трансформатора мало); $R_h = 1000$ Ом.

Решение. 1. Определяем ток, проходящий через тело человека при повторном заземлении нулевого провода:

$$I_h = I_к Z_{н.п} R_п / [(R_0 + R_п) R_h],$$

или

$$I_h = \frac{U_ф}{Z_ф + 2Z_ф} 2Z_ф \frac{R_п}{2R_п} \cdot \frac{1}{R_h} = \frac{U_ф}{3R_h},$$

то есть

$$I_h = 220/3 \cdot 1000 = 0{,}073 \text{ А} \approx 73 \text{ мА}.$$

2. Допустимое время срабатывания защиты по условиям безопасности должно быть не более величины, определяемой выражением

$$t_{откл.доп} = 50/I_h = 50/73 \approx 0{,}68 \text{ с}.$$

3. Определяем для сравнения величину тока, проходящего через тело человека при отсутствии повторного заземления ($R_п = 0$):

$$I_h = \frac{U_ф}{Z_ф + 2Z_ф} \cdot 2Z_ф \frac{1}{R_h} = \frac{2U_ф}{3R_h} = \frac{2 \cdot 220}{3 \cdot 1000} = 0{,}146 \text{ А} \approx 146 \text{ мА}.$$

Чтобы обеспечить безопасность в этом случае, максимально допустимое время работы защиты должно быть в два раза меньше, то есть

$$t_{откл.доп} = 50/146 = 0{,}34 \text{ с}.$$

Раздел IV

ОСНОВЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Глава 12

ГОРЕНИЕ, ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ, МЕРЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

12.1. Общие сведения о процессе горения

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб. *Горение* — это быстропротекающая химическая реакция, как правило, соединения вещества с кислородом воздуха, сопровождающаяся интенсивным выделением теплоты и света. Для возникновения горения требуется наличие трех факторов: горючего вещества, окислителя и источника загорания (импульса). Окислителями могут быть не только кислород, но и хлор, фтор, бром, йод, окислы азота и т. д.

В зависимости от свойств горючей смеси горение бывает гомогенным и гетерогенным. При гомогенном горении исходные вещества имеют одинаковое агрегатное состояние (горение газов и др.). Горение твердых и жидких горючих веществ является гетерогенным. Горение дифференцируется также по скорости распространения пламени и в зависимости от этого параметра может быть дефлаграционным (порядка десятка метров в секунду), взрывным (порядка сотни метров в секунду) и детонационным (порядка тысячи метров в секунду). Пожарам свойственно дефлаграционное горение.

Процесс возникновения горения подразделяется на несколько видов:

вспышка — быстрое сгорание горючей смеси, не сопровождающееся образованием сжатых газов;

возгорание — возникновение горения под воздействием источника зажигания;

воспламенение — возгорание, сопровождающееся появлением пламени.

Некоторые вещества могут воспламеняться, находясь при атмосферном давлении и температуре, например торф, опилки, уголь, хлопок, промасленная ветошь и т. п. Этот процесс называется *самовозгоранием*, то есть загоранием без источника зажигания. *Самовоспламене-*

ние — самовозгорание, сопровождающееся появлением пламени. Различают самовозгорание тепловое, химическое и биологическое. *Тепловое самовозгорание* происходит от тепловой энергии, передаваемой через воздух (внешний нагрев на расстоянии). *Химическое самовозгорание* возникает в результате химического воздействия разных веществ (могут загореться каменный уголь в штабеле, промасленная ветошь и др.). *Биологическое самовозгорание* происходит в результате самонагревания под воздействием жизнедеятельности микроорганизмов в самом веществе (загорания опилок, стога сена).

Взрыв — чрезвычайно быстрое химическое превращение с выделением большого количества энергии, вызывающее нагрев продуктов сгорания до высоких температур и резкое повышение давления. Различают также детонационное горение, при котором импульс воспламенения передается от слоя к слою смеси вследствие импульса давления. Горючая смесь, состоящая из горючего вещества и воздуха, может быть химически неоднородной или однородной. В первом случае кислород воздуха непрерывно диффундирует сквозь продукты сгорания к горючему веществу и затем вступает с ним в химическую реакцию. Такое сгорание называется *диффузионным*, скорость его невелика, так как замедляется процессом диффузии. Если же горючее вещество в газо-, паро- или пылеобразном состоянии перемешано с воздухом, то такая горючая смесь является однородной и процесс ее горения протекает быстро. Это кинетическое горение, которое в замкнутом объеме представляет собой взрыв или детонацию.

Горючие вещества могут находиться в твердом, жидком или газообразном (парообразном) состоянии. Для возможности горения в воздухе необходимо определенное количественное соотношение горючего вещества и воздуха. Горючие газы и твердые измельченные вещества (пыли) могут создавать горючие смеси при любой температуре; представляют значительную пожарную опасность, так как их воспламенение может произойти от маломощного и кратковременного источника воспламенения (например, от искры). Твердое или жидкое горючее вещество может загораться только при определенных температурах.

Воспламенение возможно только при определенной концентрации горючего вещества в воздухе. Существует

минимальная и максимальная концентрации горючего вещества в воздухе, ниже и выше которых воспламенение невозможно, то есть существуют нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения. Если имеются условия для взрыва, эти концентрации называются нижним и верхним концентрационными пределами взрываемости. Для жидких горючих веществ, кроме концентрационных пределов воспламенения, существуют также нижний и верхний температурные пределы. Большинство горючих веществ сгорает в газовой или парообразной фазе. Поэтому загорание вещества, как правило, начинается с явления вспышки за счет выделяющихся паров при поднесении пламени. Однако количество тепла, выделяющегося при вспышке, оказывается недостаточным для продолжения горения. Горение жидкого и твердого вещества начинается при температуре воспламенения, которая превышает температуру вспышки на несколько градусов.

Согласно ГОСТ 12.1.004—85, жидкости в зависимости от температуры вспышки паров подразделяются на два класса:

легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) с температурой вспышки не выше 61 °С (в закрытом тигле) или 66 °С (в открытом тигле);

горючие жидкости (ГЖ) с температурой вспышки свыше 61 °С (в закрытом тигле) или 66 °С (в открытом тигле).

Пределы воспламенения (взрываемости) паров ЛВЖ и ГЖ выражаются температурами (температурными пределами) или концентрациями паров (концентрационными пределами). Нижнему и верхнему температурным пределам соответствуют нижний и верхний концентрационные пределы (НПВ и ВПВ) в объемных процентах. Наиболее опасны жидкости с температурой вспышки менее 15 °С и широкими пределами воспламенения (например, сероуглерод имеет $T_{всп}$ = —43 °С; НПВ = 1 % и ВПВ = = 50 %).

Основные параметры взрывоопасности горючих газов: нижний и верхний пределы воспламенения, выраженные в объемной доле компонента в смеси, %, или в массовых концентрациях, мг/м^3. Область воспламенения — это промежуток между нижним и верхним пределами воспламенения.

Взрывоопасность взвешенной горючей пыли (аэрозоля) характеризуется: нижним концентрационным преде-

лом воспламенения (взрываемости), г/м³; температурой самовоспламенения, °С; минимальной энергией поджигания, а также минимальной концентрацией негорючей пыли с точки зрения устранения опасности воспламенения. Нижние концентрационные пределы воспламенения аэрозолей непостоянны и зависят от дисперсности и влажности. С увеличением дисперсности и уменьшением влажности взрывоопасность пыли увеличивается. Взвешенная пыль считается взрывоопасной, если нижний предел воспламенения ее не превышает 65 г/м³. Особо взрывоопасной считается пыль, нижний предел воспламенения которой не выше 15 г/м³. В осевшем состоянии пыли степень пожароопасности определяется возможностью ее самовозгорания.

12.2. Пожарная опасность на производстве и меры профилактики

Наиболее частые причины возникновения пожаров на промышленных предприятиях — неосторожное обращение с огнем, неисправность производственного оборудования, нарушения технологического процесса, нарушения правил эксплуатации электрооборудования, несоблюдение мер пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ и некоторые другие.

Пожар на производстве может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера.

Причины неэлектрического характера:

неправильное устройство и неисправность котельных, печей, вентиляционных и отопительных систем, отопительных приборов и технологического оборудования;

неисправность систем питания и смазки в работающих двигателях механизмов;

нарушение технологического процесса (герметизации оборудования, выделяющего пыль и газы, и др.);

нарушение режимов топки печей, котельных, отсутствие искрогасителей, оставление печей без присмотра и т. п.;

нарушение требований пожарной безопасности при газосварочных работах, резке металлов, пользовании паяльными лампами;

халатное и неосторожное обращение с огнем — курение, оставление без присмотра нагревательных прибо-

ров, разогрев деталей и сушка (в том числе помещений) открытым огнем и т. п.;

самовозгорание или самовоспламенение веществ.

Причины электрического характера:

короткие замыкания, перегрузки, искрения от нарушения изоляции, что приводит к нагреванию проводников (проводов линий, обмоток) до температуры воспламенения изоляции;

электрическая дуга, возникающая между контактами коммутационных аппаратов (разъединителей, рубильников), не предназначенных для отключения больших токов нагрузки, а также при дуговой электросварке;

неудовлетворительные контакты в местах соединения проводов (скрутки) и их сильный нагрев вследствие большого переходного сопротивления при протекании электрического тока;

аварии с маслонаполненными аппаратами (трансформаторами, выключателями), когда происходят выброс в атмосферу и воспламенение продуктов разложения минерального масла и смеси их с воздухом;

искрение в электрических аппаратах и машинах, а также искрение в результате электростатических разрядов и ударов молнии (разрядов статического и атмосферного электричества);

неисправность (замыкания) в обмотках электрических машин при отсутствии надлежащей защиты.

Подавляющее большинство пожаров и загораний от неосторожного обращения с огнем возникает в бытовых, административных, складских и подсобных помещениях. Пожарная опасность производственных зданий определяется пожарной опасностью технологического процесса и конструктивными особенностями здания. Технологическим процессом в основном определяется вероятность возникновения пожара или взрыва, скорость распространения и размеры пожара. Количеством горючих материалов в помещении, их теплотворной способностью и скоростью горения определяются продолжительность и температурный режим пожара.

При проектировании и строительстве производственных зданий и сооружений необходимо учитывать категорию их пожарной опасности. Согласно ОНТП 24-86 (Общесоюзные нормы технологического проектирования) в зависимости от характеристики обращающихся в помещении веществ и их количества помещения подразделяют-

ся по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д.

Помещения категории А (взрывопожароопасные) характеризуются применением или образованием в производственном процессе: горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей с температурой вспышки паров $T_{всп}$ до 28 °С включительно в таком количестве, что указанные газы и жидкости могут образовать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается давление, превышающее 5кПа; веществ, способных взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и друг с другом. Это помещения для электролизных (водородных) установок, закрытых складов ЛВЖ, складов для баллонов с горючим газом и ГРП.

Помещения категории Б (взрывопожароопасные) характеризуются наличием: горючих пылей или волокон, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей с $T_{вп}$ = = 28...61 °С при условии, что указанные жидкости и пыли могут образовать взрывоопасные смеси с избыточным давлением, превышающим 5 кПа (помещения закрытых складов дизельного топлива, цистерны с мазутом в помещениях и др.).

Помещения категории В (пожароопасные) характеризуются наличием: легковоспламеняющихся, трудногорючих и горючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов, а также материалов и веществ, способных гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом (узлы пересыпки угля и торфа).

Помещения категории Г характеризуются наличием негорючих веществ и материалов в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается излучением тепла, искр и пламени, и твердых, жидких и газообразных веществ, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива (машинные отделения, котельные, закрытые распредустройства; литейные, кузнечные и сварочные мастерские).

Помещения категории Д характеризуются наличием только несгораемых веществ и материалов в холодном состоянии (помещения щитов управления, механические и электроремонтные мастерские и компрессорные станции).

Проектируемые и сооружаемые электроустановки в пожароопасных и во взрывоопасных зонах должны отвечать требованиям ПУЭ, СНиП, ГОСТ ССБТ и других нормативных документов.

Пожароопасной зоной называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях.

Пожароопасные зоны подразделяются на следующие классы:

зоны класса П-I, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки свыше 61 °С (склады минеральных масел, установки по регенерации минеральных масел и т. п.);

зоны класса П-II, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м^3 к объему воздуха (деревоотделочные цехи, малозапыленные помещения мельниц и т. п.);

зоны класса П-IIа, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества (дерево, ткани и т. п.);

зоны класса П-III (расположенные вне помещения) — зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки свыше 61 °С или твердые горючие вещества.

К пожароопасным помещениям на предприятиях можно также отнести: закрытые распределительные устройства электроподстанций с маслонаполненными аппаратами, камеры трансформаторов с масляным охлаждением, кабельные помещения (туннели, полуэтажи, подвалы, шахты) и др.

Взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси равен или более 5 % свободного объема помещения.

Взрывоопасные зоны подразделяются на следующие классы:

зоны класса В-I, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве, что могут образовать с воздухом взрывоопас-

ные смеси при нормальных режимах работы (при загрузке-разгрузке технологических аппаратов; хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.);

зоны класса В-Iа, расположенные в помещениях, где такие же смеси, как и в пункте В-I, возможны только в результате аварий или неисправностей;

зоны класса В-Iб — те же помещения, что и класса В-Iа, но отличаются одной из следующих особенностей: горючие газы обладают высоким НПВ (15 % и более), возможно образование лишь местной взрывоопасной концентрации;

зоны класса В-Iг — пространства у наружных установок, содержащие взрывоопасные газы, пары, ГЖ и ЛВЖ, где взрывоопасные смеси возможны только в результате аварии или неисправности;

зоны класса В-II — зоны в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна, способные образовать с воздухом взрывоопасные смеси не только при аварийных, но и при нормальных режимах работы;

зоны класса В-IIа — то же, что и В-II, но только в результате аварий или неисправностей.

Электрические машины и аппараты, применяемые в электроустановках, должны обеспечивать как необходимую степень защиты их изоляции от вредного действия окружающей среды, так и достаточную безопасность в отношении пожара или взрыва вследствие какой-либо неисправности. Стандарт устанавливает следующую классификацию видов исполнения электрооборудования (электрических устройств): общего назначения; специальное (холодостойкое, влагостойкое и др.); открытое или защищенное (от прикосновения к движущимся и токоведущим частям); водо-, брызго-, капле-, пылезащищенное; закрытое; герметичное; взрывозащищенное (предусмотрены конструктивные меры для устранения или затруднения возможности воспламенения окружающей взрывоопасной среды).

В пожароопасных помещениях (зонах) всех классов допускается открытая электропроводка непосредственно по несгораемым конструкциям и поверхностям изолированными проводами (АППР, АПВ, АППВ), проводка в стальных трубах проводом марок ПРТО и АПРТО, в пустотных каналах несгораемых строительных конст-

рукций (проводами АПВ и ПВ). В пожароопасных зонах всех классов применение неизолированных проводов запрещено.

Во взрывоопасных зонах рекомендуется применять взрывозащищенные электрические машины и аппараты.

12.3. Огнестойкость зданий и сооружений

Согласно ГОСТ 12.1.004—85, при проектировании и строительстве зданий и сооружений, помещений и открытых установок необходимо учитывать категорию пожарной опасности производства, степень огнестойкости этих зданий и предел огнестойкости применяемых строительных конструкций. Условия развития пожара в зданиях и сооружениях во многом определяются степенью их огнестойкости.

Степенью огнестойкости называется способность здания (сооружения) в целом сопротивляться разрушению при пожаре. В соответствии со СНиП 2.01.02—85 здания и сооружения по степени огнестойкости подразделяются на восемь степеней (I, II, III, IIIа, IIIб, IV, IVа, V). Степень огнестойкости здания (сооружения) зависит от возгораемости и огнестойкости строительных конструкций и от пределов распространения огня по этим конструкциям.

По возгораемости строительные конструкции подразделяются на несгораемые, трудносгораемые и сгораемые. *Несгораемыми* являются строительные конструкции, выполненные из несгораемых материалов. *Трудносгораемыми* считаются конструкции, выполненные из трудносгораемых материалов или из сгораемых, защищенных от огня и высоких температур несгораемыми материалами (например, противопожарная дверь, выполненная из дерева и покрытая листовым асбестом и кровельной сталью).

Огнестойкость строительных конструкций характеризуется их пределом огнестойкости, под которым понимают время в часах, по истечению которого конструкция теряет несущую или ограждающую способность, то есть конструкция уже не может выполнять свои обычные эксплуатационные функции. Потеря несущей способности означает обрушение конструкции. Образец конструкции помещают в специальную печь и одновременно подвергают воздействию необходимой нагрузки. Время от начала испытания до появления одного из признаков по-

тери несущей или ограждающей способности (например, появление сквозной трещины, повышение температуры необогреваемой поверхности более чем на 140 °С или в любой точке этой поверхности более чем на 180 °С по сравнению с температурой до испытания, или более 210 °С независимо от температуры конструкции до испытания) и является пределом огнестойкости.

Наименьший предел огнестойкости имеют незащищенные металлические конструкции, а наибольший — железобетонные.

В зданиях I степени огнестойкости все конструктивные элементы несгораемые, с высоким пределом огнестойкости (1,5—3 ч); II степени — тоже несгораемые, но с меньшим пределом огнестойкости (0,5—2,5 ч); III степени — здания, у которых основные несущие конструкции несгораемые, а ненесущие (междуэтажные и чердачные перекрытия, перегородки) — трудносгораемые (предел огнестойкости 0,25—2 ч); IV степени — здания, у которых все конструкции трудносгораемые (предел огнестойкости 0,25—0,5 ч); у зданий V степени огнестойкости все конструкции сгораемые.

Требуемую степень огнестойкости зданий устанавливают в зависимости от их конструкции, назначения, этажности, площади, категории взрывопожарной опасности технологических процессов и наличия автоматических средств пожаротушения. Так, помещения производств категорий А и Б должны быть выполнены из строительных конструкций I и II степени огнестойкости; количество этажей не должно превышать шести. Для производств категории В количество этажей здания, выполненного из строительных конструкций II и III степеней огнестойкости, не ограничивается. Для зданий категории Г из строительных конструкций I и II степеней огнестойкости количество этажей не ограничивается, а выполненных из конструкций III степени огнестойкости не должно превышать трех. При использовании конструкций IV степени огнестойкости число этажей не должно превышать двух, а при V степени огнестойкости здание должно быть одноэтажным. Эти требования исходят из соображений обеспечения мер против распространения пожара в другие соседние помещения и этажи и быстрой эвакуации людей из них во время пожара.

Повысить огнестойкость зданий и сооружений можно облицовкой или оштукатуриванием металлических кон-

струкций. Преимуществом пользуются облицовочные материалы, обладающие минимальной массой и минимальным коэффициентом температуропроводности. Так, при облицовке стальной колонны гипсовыми плитами толщиной 6 см предел огнестойкости повышается с 0,25 до 3,3 ч. Применяются краски (типа ВПМ), которые в условиях обычной эксплуатации предохраняют металлические конструкции от коррозии, а при пожаре вспучиваются и в результате увеличения их термического сопротивления повышают предел огнестойкости. Большое значение имеет защита деревянных конструкций, так как при нагреве их поверхности до 270—280 °С они воспламеняются и продолжают гореть самостоятельно. Из имеющихся видов штукатурки предпочтение отдается известково-цементной толщиной 20 мм, асбестоцементной или гипсовой. Другим эффективным видом огнезащитной обработки является пропитка антипиренами — химическими веществами, предназначенными для придания древесине негорючести (фосфорно-кислый аммоний, сернокислый аммоний).

Наряду с глубокой пропиткой древесины существуют средства ее поверхностной обработки, а также покрытие деревянных конструкций огнезащитными красками, специальными обмазками. Для защиты облицовкой стальных колонн используют легкий бетон, обыкновенный глиняный кирпич, пустотные керамические камни. Слой штукатурки толщиной 25 мм, нанесенный по металлической сетке, повышает огнестойкость стальной колонны до 50 мин, а 50 мм — до 2 ч. Облицовка колонны в полкирпича обеспечивает ее защиту в течение 5 ч, а в четверть кирпича — до 2 ч; гипсовыми плитами толщиной 30 мм — до 2 ч, а 60 мм — до 4,5 ч. В последние годы строятся здания с металлическим каркасом, который заполняют водой (с антикоррозионными добавками) для увеличения предела их огнестойкости (до 2 ч и более). Известково-алебастровая штукатурка обеспечивает защиту от возгорания деревянной конструкции в течение 15—30 мин (в зависимости от толщины). Эффективна пропитка древесины водными растворами огнезащитных составов в автоклавах под давлением или методом горячехолодных ванн.

12.4. Меры пожарной безопасности

Мероприятия по противопожарной защите разделяются на организационные, эксплуатационные, технические и режимные (специальные).

Организационные мероприятия: обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, организация пожарной охраны, проведение бесед, лекций, издание необходимых инструкций, плакатов и т. п.

Технические мероприятия предусматривают соблюдение противопожарных правил и норм при устройстве систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, молниезащиты, при сооружении зданий, установке технологического оборудования и др.

Эксплуатационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, молниезащиты, технологических машин и оборудования, правильное содержание зданий и территорий и т. п.

Режимные мероприятия предусматривают запрещение или ограничение применения открытого огня в пожароопасных местах (при газо- и электросварочных работах и т. п.), курения в неустановленных местах, обязательное соблюдение норм и правил при работе с огнеопасными и взрывоопасными веществами (обязательное оформление наряда-допуска с дополнительным инструктажем, постоянным надзором со стороны руководящего состава и др.).

С точки зрения пожарной безопасности генеральные планы промышленных предприятий должны обеспечивать следующие меры: соблюдение необходимых безопасных расстояний от границ предприятия до соседнего предприятия, населенного пункта, полосы магистральных железных дорог и водных путей; правильное зонирование зданий и сооружений с учетом их назначения и других признаков; соблюдение требуемых противопожарных разрывов между зданиями и сооружениями.

Санитарно-защитные зоны по своим размерам превышают требуемые противопожарные разрывы. При зонировании зданий и сооружений промышленного предприятия выделяют здания и сооружения основного и вспомогательного назначения, склады, здания административного и хозяйственно-бытового назначения. При этом здания и сооружения повышенной пожарной опасно-

сти располагают с подветренной стороны. Противопожарные разрывы между производственными зданиями и сооружениями нормируются СНиП I-89-80 и СНиП II-106-79 в зависимости от огнестойкости здания и категории пожарной опасности размещенного в нем производства, а для складов — от пожаро- и взрывоопасности хранящихся веществ, емкости склада и его устройства (наземные, подземные).

При планировке предприятий необходимо обеспечить подъезд пожарных автомобилей к зданиям. На предприятиях площадью свыше 5 га или при длине площадки свыше 1000 м следует предусматривать не менее двух выездов для транспорта (на расстоянии не более 1500 м); при площади застройки более 10 га — со всех сторон. Для забора воды на противопожарные нужды из водопроводной сети вдоль проездов в закрытых колодцах устанавливают пожарные гидранты на расстоянии не более 100 м один от другого и не более 5 м от стен зданий, а к дороге — 2 м.

Противопожарный водопровод рассчитывают на подачу необходимого для тушения пожара количества воды под соответствующим напором в течение не менее 3 ч. Если напор воды в водопроводе недостаточен, то его повышают насосами, пожарными мотопомпами. Согласно норм, напор воды должен обеспечивать высоту в компактной части струи не менее 10 м при длине рукава до 100 м и диаметре 66 мм при расчетном расходе воды не менее 5 л/с.

В качестве меры против распространения начавшегося пожара применяют общие или местные противопожарные преграды. Общие противопожарные преграды, разделяющие здание по вертикали или горизонтали на отдельные отсеки, представляют собой противопожарные стены или перекрытия, выполняемые из несгораемых материалов (кирпича, железобетона), с минимальным пределом огнестойкости 2,5 ч. Противопожарные стены возводят выше сгораемых перекрытий, а противопожарные перекрытия делают с выступами за плоскость сгораемых стен. Дверные проемы в противопожарных стенах перекрывают противопожарными дверями, а оконные — противопожарными окнами. Местные противопожарные преграды предназначаются для ограничения распространения пламени в начальной стадии развития пожара. К местным преградам относятся бортики, поро-

ги, кюветы, обваловки (вокруг наземных резервуаров с горючими жидкостями).

При пожаре большую опасность представляют собой продукты горения (дым), содержащие отравляющие, а иногда и взрывоопасные вещества. Для их удаления создаются дымовые люки, которые обеспечивают направленное удаление дыма, незадымляемость смежных помещений, облегчают обнаружение очага пожара. Открыванием дымовых люков создаются также более благоприятные условия для эвакуации людей из горящего здания. СНиП 2.01.02-85 предусматривает устройство дымовых люков в театральных зданиях, а также в бесфонарных зданиях с производствами, относимыми по взрывопожароопасности к категориям А, Б и В (в каждом изолированном помещении должно быть не менее двух дымовых люков на площадь 1000 м^2). Площадь поперечного сечения дымовых люков или шахт принимают равной 0,2 % от площади производственных помещений. Сечение дымового люка обычно перекрывается клапаном с устройством для открывания и закрывания (с ручным или автоматическим приводом). Для удаления дыма при пожаре в подвальных помещениях нормами предусмотрено устройство окон размером не менее 0,9 × 1,2 м на каждые 1000 м^2 площади подвального помещения.

Для помещений, в которых имеются взрывоопасные вещества, предусматриваются взрывные люки, представляющие собой проемы, перекрывающиеся легкосбрасываемыми конструкциями, которые служат для очень быстрого удаления продуктов горения (снижения давления до безопасного для строительных конструкций уровня). В соответствии со СНиП 2.09.02-85 взрывные люки применяются в помещениях категорий А и Б. Площадь легкосбрасываемых конструкций принимают не менее 0,05 м^2 на 1 м^3 объема помещений категории А и не менее 0,03 м^2 на 1 м^3 — категории Б.

Основные требования пожарной безопасности к *системам отопления* даны в СНиП 2.04.05-86. Наибольшую пожарную опасность представляет местное огневое, газовое отопление, при котором постоянные или временные печи для сжигания топлива устанавливаются непосредственно в помещениях, а нагрев их наружной поверхности колеблется от +50 до +400 °С. Центральные системы отопления имеют умеренные температуры и поэтому наиболее безопасны в пожарном отношении. Их по-

жарная опасность характеризуется главным образом наличием котла с огневой топкой и дымовой трубы, а также температурой нагрева трубопроводов и батарей (радиаторов). Наименьшую пожарную опасность представляет воздушное калориферное центральное отопление, так как в этой системе отсутствуют трубопроводы и батареи, а поступающий в помещение подогретый воздух непожароопасен.

При неправильном устройстве и эксплуатации *вентиляционные установки и системы кондиционирования воздуха* могут стать причиной возникновения и распространения пожаров. По воздуховодам могут перемещаться горючие вещества и смеси горючих газов, паров, пыли, которые при наличии теплового источника могут загораться или даже взрываться и распространять пожар по системе на все здание. Источниками воспламенения при этом могут быть: искрение электродвигателя, чрезмерный нагрев от трения вала вентилятора, искры от удара лопаток вентилятора о корпус, статическое электричество, самовозгорание пыли и т. д. Пожарную опасность представляют также воздуховоды, камеры, фильтры и другие аппараты, в которых может скапливаться значительное количество горючих веществ.

Меры противопожарной защиты в системах вентиляции и кондиционирования воздуха осуществляют в целях предотвращения возможности образования взрывоопасных концентраций газо-, паро- и пылевоздушных смесей как в объеме всего помещения, так и в объеме той или иной его части. Воздух с содержанием взрывоопасных отходов и пыли следует подвергать очистке до поступления его в вентилятор, для чего пылеотделители и фильтры устанавливают перед вентилятором.

Системы отопления с местными нагревательными приборами (печи, газовые колонки) пожароопасны, их применение ограничивается (предельная температура на поверхности этих приборов и трубопроводов разрешается не более 110 °С при наличии в окружающей среде пыли и 150 °С — при отсутствии пыли).

Питание электроэнергией установок вентиляции и кондиционирования воздуха должно быть сблокировано с противопожарными насосами: при включении насоса во время пожара автоматически отключаются установки вентиляции и кондиционирования воздуха. В помещениях категорий А, Б и В при пожаре отключают централизованно все системы вентиляции. Вентиля-

ционное и электрическое оборудование установок общеобменной вентиляции (в том числе и кондиционеры) располагают в специальных изолированных помещениях (камерах, выполненных из несгораемых материалов с пределом огнестойкости не менее 1 ч). Электрическое оборудование и металлические части системы вентиляции заземляются. Вентиляционные каналы — воздуховоды — выполняются из трудносгораемых материалов, а в пожаро- и взрывоопасных помещениях — из несгораемых. Воздуховоды сооружают так, чтобы не пересекать противопожарных стен. Для удаления пожаро- и взрывоопасных паров, газов и пылей в производственных помещениях категорий А, Б и В предусматривается аварийная вентиляция (с кратностью воздухообмена не менее восьми), работающая только на выброс воздуха.

Для того чтобы предотвратить воздействие на людей опасных факторов пожара, при проектировании зданий должна быть предусмотрена возможность быстрой эвакуации людей из здания. Время эвакуации ($t_{э.расч}$) определяется расстоянием от рабочего места до выхода наружу. Максимальные расстояния от наиболее удаленного рабочего места до эвакуационного выхода нормируются в зависимости от категории производства, степени огнестойкости здания и не превышают 100 м. Число эвакуационных выходов должно быть, как правило, не менее двух. Выходы считаются эвакуационными (СНиП 2.01.02-85), если они ведут: из помещений первого этажа непосредственно наружу или через вестибюль, коридор, лестничную клетку; из помещений любого этажа, кроме первого, в коридор, ведущий на лестничную клетку, имеющую выход непосредственно наружу, или через вестибюль; из помещения в соседнее помещение на том же этаже, обеспеченное выходами, указанными выше. Лифты и другие механические средства транспортирования людей не относятся к путям эвакуации.

При расчете движения людских потоков и определении размеров коммуникационных помещений путей эвакуации вычисляют следующие основные параметры:

плотность размещения людей на площади коммуникационного помещения D, чел/м^2 или м^2/м^2:

$$D = \frac{N}{F}, \text{ или } D = \sum_{1}^{n} N_n f_n / F, \qquad (108)$$

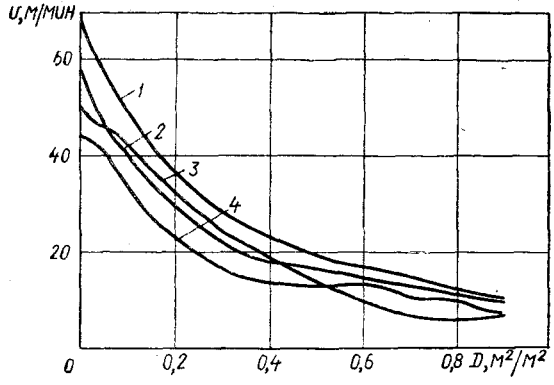


Рис. 32. Зависимость скорости движения людского потока от его плотности:
1 — проемы; *2* — горизонтальные пути; *3* — лестницы (спуски); *4* — лестницы (подъемы)

где N — количество людей, находящихся на участке данной площади, чел.; F — площадь пути коммуникационного участка, м²; f — площадь горизонтальной проекции человека, м²;

пропускная способность пути Q, м²/мин или чел/мин, и интенсивность движения людского потока q, м/мин или чел/мин,

$$Q = Dv\delta; q = Dv, \tag{109}$$

где v — скорость движения людского потока, м/мин, которая принимается из табл. 11 или графика (рис. 32) $v = \varphi(D)$; δ — ширина пути (м), определяемая из выражения $\delta = \frac{NF}{L_{пр}D}$ (здесь $L_{пр}$ — предельно допустимая длина для данного участка пути эвакуации, м);

для обеспечения беспрепятственного движения людского потока по всему маршруту движения необходимо, чтобы пропускная способность предыдущего (n-го) участка пути не превышала максимальной пропускной способности последующего ($n + 1$) участка, то есть должно соблюдаться условие

$$Q_n \leqslant Q_{(n+1)\max}. \tag{110}$$

Определив расчетное время эвакуации (сумму времени на каждом участке пути)

$$t_{расч} = \frac{L}{v} = \frac{L_1}{v_1} + \frac{L_2}{v_2} + \frac{L_3}{v_3} + \cdots + \frac{L_n}{v_n},$$

Таблица 11. **Расчетные параметры при эвакуации людей**

Плотность потока D, м²/м²	Горизонтальный путь		Дверной проем q, м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	скорость v, м/мин	интенсивность q, м/мин		v, м/мин	q, м/мин	v, м/мин	q, м/мин
0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
0,05	100	5	5	100	5	60	3
0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
0,3	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,5	22	11
0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,8
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

сравнивают его с нормативным временем эвакуации $t_{эн}$ (из СНиП 2.01.02-85). Обязательно должно выполняться условие

$$t_{расч} \leqslant t_{эн}. \qquad (111)$$

Необходимое время эвакуации людей из помещений производственных зданий I, II и III степени огнестойкости в зависимости от категории производства по пожарной опасности и объема помещения приведено в табл. 12.

Таблица 12. **Нормируемое время эвакуации при пожарах**

Категория помещения	Необходимое время эвакуации $t_{эн}$, мин, при объеме помещения, тыс. м³				
	до 15	30	40	50	60 и более
А, Б	0,5	0,75	1	1,5	1,75
В	1,25	2	2	2,5	3
Г, Д	Не ограничивается				

Пожарная профилактика при эксплуатации электроустановок, радиоаппаратуры, электронных приборов и устройств заключается в следующих мероприятиях:

поддержании сопротивления изоляции токоведущих частей не ниже величин, регламентированных Правилами техники безопасности (например, сопротивление изо-

ляции каждого участка в сетях напряжением до 1000 В должно быть не ниже 0,5 МОм на каждую фазу);

защите изоляции от теплового, механического и агрессивного воздействия окружающей среды посредством прокладки проводов в трубах, исключении повреждения изоляции проводов и кабелей от вибрации, тряски и при движении;

защите открытых токоведущих частей (ограждениями) от попадания на них посторонних предметов;

устройстве механических и электрических блокировок для исключения ошибочных действий при выполнении оперативных переключений;

соблюдении работающими инструкций и правил и др.

Для предотвращения пожаров кабельных линий используют специальные огнезащитные их покрытия, которые препятствуют распространению пожара. Во время ремонта в кабельных линиях с применением сварки, пайки или открытого огня должны строго соблюдаться правила пожарной безопасности. Необходимо тщательно проверять состояние контактов, так как ослабление контактов в местах присоединения (соединений) может привести к местному нагреву, а затем к нагреву провода и, как следствие этого, к нагреву изоляции выше допустимых температур. Особое внимание следует обращать на временные электропроводки, которые часто плохо изолируются в местах соединения, подвергаются скручиванию и ударам, что нарушает изоляцию проводов и вызывает короткое замыкание.

Надежность работы радиоэлектронных изделий гарантируется только в определенных интервалах температуры, влажности, тока и напряжения. Из-за возможных отклонений электрических и климатических параметров эти изделия являются нередко источниками открытого пламени и высоких температур. Могут загораться резисторы, выгорать отдельные элементы схемы. Причиной этого являются небрежное исполнение и нарушение правил монтажа. Наиболее действенное предупреждение короткого замыкания — правильный выбор, монтаж и эксплуатация электрических сетей, радиоэлектронной аппаратуры, машин и электрооборудования. Существенную роль играет защитная смазка, предохраняющая контактную поверхность от быстрого окисления.

12.5. Защита от электростатических разрядов на производстве. Молниезащита

Электростатические заряды («статическое электричество») возникают на поверхностях некоторых материалов (твердых и жидких) в результате сложного процесса контактной электризации. Между соприкасающимися телами (особенно при взаимном их трении) возникает контактная разность потенциалов, величина которой зависит от диэлектрических свойств материалов, величины их взаимного давления при соприкосновении, влажности, температуры поверхностей тел и климатических условий окружающей среды. В жидкостях или газах происходит перераспределение электронов с образованием двойного электрического слоя с противоположными знаками электрических зарядов. При последующем разделении этих тел каждое из них сохраняет свой электрический заряд, а с увеличением расстояния между ними (то есть при уменьшении их электрической емкости) разность потенциалов возрастает и может достичь нескольких десятков киловольт.

При статической электризации во время технологических процессов, сопровождающихся трением, размельчением твердых частиц, пересыпанием сыпучих тел, переливанием жидкостей-диэлектриков на изолированных от земли металлических частях производственного оборудования возникает относительно земли электрическое напряжение порядка десятков киловольт. В качестве примеров можно привести трение резиновой ленты транспортера или ременной передачи о шкив, когда на ленте (ремне) и на роликах (шкивах) возникают электростатические заряды противоположных знаков и большой величины. Аналогично происходит электризация при сматывании тканей, бумаги, пленки, переливании масел, бензина и т. д. В аэрозолях электрические заряды возникают от трения частиц пыли друг о друга и о воздух.

Если заряды и разность потенциалов велики, то при малой влажности воздуха может произойти быстрый искровой разряд между наэлектризованными частями оборудования или на землю. Энергия такой искры может оказаться достаточной для воспламенения горючей или взрывоопасной смеси. Практически при напряжении 3 кВ искровой разряд вызывает воспламенение почти

всех паро- и газовоздушных смесей, а при 5 кВ — большей части горючих пылей и волокон.

Общие требования искробезопасности от разрядов статического электричества для обеспечения пожаро- и взрывобезопасности установлены ГОСТ 12.1.018—86, а способы защиты приведены в ГОСТ 12.4.124—83. Защита от возникновения электростатических зарядов достигается следующими мерами:

заземлением производственного оборудования и емкостей, чтобы сопротивление в любой точке цепи не превышало 10^6 Ом;

увеличением электропроводности поверхностей электризующихся тел путем увеличения влажности воздуха (при относительной влажности воздуха 85 % и более электростатических зарядов обычно не возникает);

введением в состав резинотехнических изделий (лента транспортера и т. п.) антистатических присадок (графита, сажи) для повышения их электропроводности;

ионизацией воздуха с целью увеличения его электропроводности (воздействием электрического поля высокого напряжения или радиоактивного излучения).

Разряды атмосферного электричества (молнии) могут явиться причиной взрывов, пожаров, поражения людей. По данным статистики около 7 % пожаров возникает от разрядов молнии. Разрушительное действие прямого удара молнии (первичного проявления молнии) очень велико. Однако существует еще и вторичное проявление, которое заключается в том, что во время разряда молнии на изолированных от земли металлических предметах вследствие электромагнитной и электростатической индукции возникают электротоки высоких напряжений. Возможен перенос высоких потенциалов по проводам, через наземные или подземные металлические коммуникации. При этом в местах разрыва электрической цепи может возникнуть искрение, достаточное для воспламенения горючей среды.

Ток молнии производит электромагнитное, тепловое и механическое воздействия на те сооружения, по которым проходит во время удара молнии. При прямом ударе молнии в объект через него проходит кратковременный (импульсный) ток молнии. *Молнией* называется разряд между электрически заряженным облаком и землей или между разноименно заряженными областями двух облаков. Электростатическая электризация грозовых облаков

происходит в результате движения мощных воздушных потоков и конденсации в них водяных паров. Вследствие накопления в облаках значительных электрических зарядов происходит гроза. Во время грозового разряда в течение 0,1 с при токе молнии порядка 100—200 кА в канале молнии развивается температура до 30 000 °С. Вследствие быстрого расширения нагретого воздуха возникает с большим шумом взрывная волна. В разных районах страны число грозовых дней и грозовых часов различно (на юге и в средней полосе 100 и 60—80 ч, а в районах Средней Азии и Крайнего Севера — менее 10 ч в год). Средняя грозовая деятельность определяется по специальной карте.

Комплекс защитных устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей, сохранности зданий и сооружений, оборудования и материалов от взрывов, загораний и разрушений, называется *молниезащитой*. Для приема электрического разряда и отвода токов молнии в землю служат специальные устройства — молниеотводы. Молниеотвод состоит из несущей части (опоры), молниеприемника, непосредственно воспринимающего удары молнии, токоотвода (спуска), соединяющего молниеприемник с заземлителем для отвода тока в землю. Молниеприемники по устройству делят на стержневые, тросовые и сетчатые. По количеству действующих молниеприемников их разделяют на одиночные, двойные и многократные (три и более).

Защитное действие молниеотводов основано на свойстве молнии поражать наиболее высокие и хорошо заземленные металлические сооружения. Благодаря этому более низкие по высоте здания, входящие в зону защиты данного молниеотвода, не будут поражены молнией.

Зоной защиты молниеотвода называют часть пространства, примыкающего к молниеотводу и обеспечивающего защиту сооружения от прямых ударов молнии с достаточной степенью надежности (99 %). Радиус зоны защиты (рис. 33) вычисляется по конкретным параметрам для того или иного молниеотвода. Так, для одиночного стержневого молниеотвода зона защиты представляет собой конус с основанием радиусом $r = 1{,}5\,h$ (h — высота молниеотвода, м), радиус зоны защиты на высоте защищаемого сооружения h_x, м, определяется из выражения

$$r_x = 1{,}5\,(h - 1{,}25h_x); \qquad (112)$$

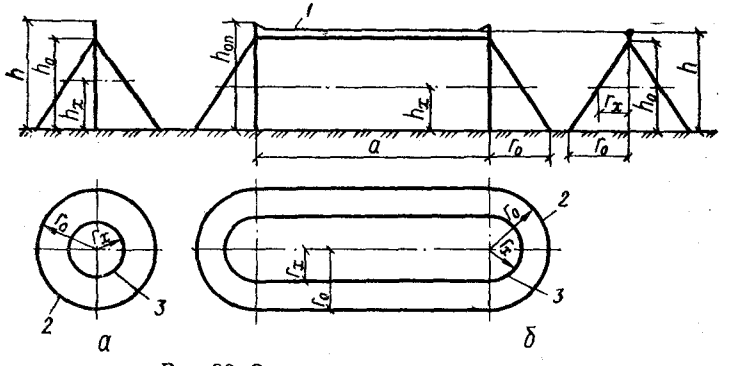


Рис. 33. Зона защиты молниеотводов:

а — одиночного стержневого; *б* — тросового; *1* — трос; *2* — граница зоны защиты на уровне земли; *3* — то же, на уровне h_x; $h_{оп}$ — высота опоры; h — высота молниеотвода; h_0 — высота зоны защиты над землей; r_0 — радиус зоны защиты на уровне земли; r_x — радиус зоны защиты на высоте h_x над землей; a — расстояние между опорами

для одиночного тросового молниеотвода

$$r_x = 1{,}25\,(h - 1{,}25h_x). \qquad (113)$$

В зависимости от характера необходимых мероприятий по молниезащите все здания и сооружения разделяются на три категории. К I категории относятся промышленные здания и сооружения со взрывоопасными зонами классов В-I и В-II, расположенные в любом месте территории СССР; ко II категории — промышленные здания и сооружения с зонами классов В-Iа, В-Iб и В-IIа, расположенные в местности со средней грозовой деятельностью 10 и более часов в год. По этой же категории должна осуществляться молниезащита наружных технологических установок и открытых складов, относимых к классу В-Iг вне зависимости от места нахождения этих объектов на территории СССР. Молниезащита по этим категориям (I и II) предусматривает защиту зданий и сооружений от прямых ударов молнии, от электростатической и электромагнитной индукции и заноса высоких потенциалов через наземные и подземные металлические конструкции и коммуникации.

К III категории относятся многие другие производственные, сельскохозяйственные, жилые и общественные здания, сооружения и склады, дымовые трубы, водонапорные и силосные башни, пожарные вышки и другие

объекты классов П-I, П-II и П-IIа при следующих условиях:

объекты расположены в местностях с грозовой деятельностью 20 грозовых часов в год и более;

ожидаемое количество поражений не менее 0,05 в год для зданий и сооружений I и II степеней огнестойкости;

ожидаемое количество поражений не менее 0,01 в год для зданий и сооружений III, IV и V степеней огнестойкости.

Ожидаемое количество поражений в год (N) зданий и сооружений, не оборудованных молниезащитой, определяется из выражения

$$N = (b + 6h_x)(L + 6h_x)\, n \cdot 10^{-6}, \qquad (114)$$

где L и b — соответственно длина и ширина здания, м; h_x— наибольшая высота здания по его боковым сторонам, м; n — среднее число поражений молнией 1 км^2 земной поверхности в месте расположения здания, принимается в зависимости от грозовой деятельности, А, ч/год:

А, ч/год	n
10—20	1
20—40	3
40—60	6
60—80	9
80—100 и более	12

По степени надежности зоны защиты молниеотводов делят на два типа: А — со степенью надежности 99,5 % и выше; Б — 95 % и выше.

Для объектов, относящихся к I категории молниезащиты, предусматривают молниеотводы с зонами защиты только типа А. Тип зоны защиты молниеотводов для объектов II и III категорий зависит от ожидаемого числа поражений молнией в год зданий и сооружений, не имеющих молниезащиты (N). При показателе $N > 1$ для зданий и сооружений II категории предусматривается зона типа А, а при $N \leqslant 1$ — типа Б. Наружные технологические установки класса В-1, относимые также ко II категории, подлежат молниезащите от прямых ударов молнии на всей территории СССР, а молниеотводы предусматривают с зонами защиты типа Б. Для объектов III категории зону защиты молниеотводов типа А принимают при $N > 2$, а типа Б — при $N \leqslant 2$ с учетом степеней огнестойкости строительных конструкций.

Наиболее сложным является устройство молниезащиты I категории. Молниеотводы должны быть обязательно изолированы от защищаемого сооружения или выполняться отдельно стоящими. При II категории молниезащиты, кроме отдельно стоящих или установленных на зданиях изолированных молниеотводов, допускается использовать молниеприемную сетку, накладываемую на кровлю. Заземлители молниеотводов необходимо размещать в редко посещаемых местах на расстоянии 5 м и более от проезжих и пешеходных дорог. Сопротивление заземлителя должно быть не более 10 Ом.

Молниеприемники должны быть изготовлены из стали (оцинкованы или окрашены): стержневой — сечением не менее 100 мм^2 и длиной не менее 200 мм и тросовый (многопроволочный оцинкованный трос) — сечением не менее 35 мм^2.

Учебно-поисковая задача

Пожарная безопасность технологических процессов и оборудования

Источниками воспламенения могут быть тепло химических реакций, пламя печей, открытый огонь при проведении ремонтных работ, тепло нагретого оборудования и нагретых масс, механический разогрев, искры электрические, электростатические и механические. В результате теплового проявления механической энергии возникают ударные искры, разогрев и искры трения. Воспламеняющаяся способность искры зависит от ее температуры теплосодержания и длительности воздействия.

Электрические устройства представляют пожарную опасность при перегрузке проводов или коротком замыкании. Воспламеняющая способность искры размыкания электрической цепи зависит от рабочего напряжения, самоиндукции цепи, силы тока в цепи перед размыканием, скорости размыкания, рода и частоты тока, размыкаемых контактов (металла, формы и площади их).

Вероятность воспламенения при эксплуатации электрических приборов (защиты, контроля, автоматики и т. п.) зависит от состояния элементов и соединительных проводов. Пожароопасны изоляционные материалы, лаки, краски и эмали.

В целях пожарной безопасности необходимо исключить возможность возникновения электростатических зарядов. Для предотвращения короткого замыкания необходимы: правильный выбор, монтаж и эксплуатация сетей, машин и аппаратов; соблюдение правил эксплуатации, ремонта, осмотров и испытаний электроустановок. Для локализации последствий короткого замыкания используют быстродействующую релейную защиту и выключатели, установочные автоматы и плавкие предохранители.

Автоматические приборы поддерживают на заданном уровне параметры технологического процесса, сигнализируют об откло-

нениях от нормального хода производства, останавливают работу агрегатов при возникновении опасности (чрезмерном повышении температуры, давления и т. п.). Применение автоматической блокировки позволяет исключить неправильное включение аппаратов, которое могло бы привести к пожару или образованию взрывоопасных смесей.

Автоматическая защита от возникновения и распространения пожара осуществляется: предотвращением образования горючей среды в производственных агрегатах, коммуникациях и помещениях; эвакуацией горючих веществ из производственных емкостей в аварийные; перекрытием производственных коммуникаций, вентиляционных систем, путей распространения пожаров; включением подачи гасящих средств на пути распространения огня; закрыванием проемов (для предотвращения распространения огня в соседние помещения).

Пример 10. Бензин со скоростью $v = 100$ л/мин наливают в изолированную цистерну вместимостью $M = 1000$ л. Скорость электризации бензина $q = 1{,}1 \cdot 10^{-8}$ А · с/л. В каком случае будет обеспечена безопасность от возможных разрядов статического электричества?

Р е ш е н и е. Определим потенциал на цистерне к концу налива. Общий заряд, передаваемый электризованным бензином цистерне, составит

$$Q = qM = 1{,}1 \cdot 10^{-8} \cdot 1000 = 11 \cdot 10^{-6}\ К.$$

Если электрическую емкость цистерны принять равной $C = 10^{-9}$ Ф, то потенциал на корпусе к концу налива будет

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{11 \cdot 10^{-6}}{10^{-9}} = 11 \cdot 10^{3}\ \text{В}.$$

При данном потенциале в случае разряда энергия искры между цистерной и землей

$$E = 0{,}5CU^2 = 0{,}5 \cdot 10^{-9} \cdot 121 \cdot 10^{6} = 60{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{Дж}.$$

Для воспламенения бензина достаточно искры с энергией $E_{\min} = 0{,}9 \cdot 10^{-3}$ Дж, а поэтому потенциал на цистерне должен быть не более

$$U_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{2E_{\min}}{C}} = \sqrt{2 \cdot 0{,}9 \cdot 10^{-3}/10^{-9}} = 1{,}35 \cdot 10^{3}\ \text{В}.$$

Для уменьшения потенциала до допустимой величины необходимо предусмотреть заземление, величина сопротивления которого может быть определена из выражения $R \ll U_{\text{доп}} t/Q = U_{\text{доп}} M/Qv$, то есть

$$R = \frac{1{,}35 \cdot 10^{3} \cdot 1000 \cdot 60}{11 \cdot 10^{-6} \cdot 100} = 73{,}6 \cdot 10^{9}\ \text{Ом}\ (t = 60\ \text{с}).$$

При этом время полного разряда

$$T = 3\tau = 3RC = 3 \cdot 73{,}6 \cdot 10^{9} \cdot 10^{-9} = 220{,}8\ \text{с}.$$

Принимая во внимание, что во взрывоопасной среде постоянная времени релаксации должна быть $\tau_{доп} \leqslant 0{,}001$ с, необходимо предусмотреть заземляющее устройство с сопротивлением $R_{доп} \leqslant \frac{\tau_{доп}}{C} = \frac{0{,}001}{10^{-9}} = 10^6$ Ом. Тогда потенциал на корпусе цистерны не превысит допустимого значения, то есть

$$U' = \frac{QR}{t'} = \frac{11 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6}{10 \cdot 60} = 1{,}83 \cdot 10^{-2} \text{ В } (t' = 10 \text{ мин}),$$

здесь $t = 10$ мин — полное время налива бензина со скоростью 100 л/мин в цистерну емкостью 1000 л.

Глава 13

СРЕДСТВА ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ И ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

13.1. Средства огнетушения и их свойства

В соответствии с условиями, необходимыми для возникновения и распространения горения, его прекращение может быть достигнуто следующими методами:

прекращением доступа в зону горения окислителя (кислорода воздуха) или горючего вещества, а также снижением их поступления до величин, при которых горение невозможно;

охлаждением зоны горения ниже температуры самовоспламенения или понижением температуры горящего вещества ниже температуры воспламенения;

разбавлением горючих веществ негорючими;

интенсивным торможением скорости химических реакций в пламени, механическим отрывом пламени сильной струей газа или воды.

На этих принципиальных методах и основаны используемые способы и приемы прекращения горения при пожарах.

Основные огнегасительные вещества: вода, химическая и воздушно-механическая пены, водные растворы солей, инертные и негорючие газы, водяной пар, галоидоуглеводородные огнегасительные составы и сухие огнетушащие порошки, сжатый воздух.

Воду можно применять самостоятельно или в смеси с различными химикатами. В сравнении с другими средствами вода отличается такими преимуществами, как широкая доступность и низкая стоимость, большая теплоемкость, обеспечивающая отвод тепла из труднодоступных мест, высокая транспортабельность, химическая нейтральность и неядовитость. К недостаткам воды относится замерзание при температуре 0 °С, следствием чего могут стать разрыв пожарных рукавов и поломка насоса; неприменимость для тушения горящих жидких веществ (ЛВЖ и ГЖ) с плотностью меньше единицы (бензин, керосин, ацетон, спирты, масла, эфир и т. п.). Будучи легче воды, они всплывают на ее поверхность, продолжают гореть и, растекаясь, увеличивают площадь горения. Нельзя тушить водой электросети и электроустановки, находящиеся под напряжением, так как струя воды является проводником и может вызвать поражение электрическим током.

Химическая пена получается при взаимодействии щелочного и кислотного растворов в присутствии пенообразователей. При этом образуется газ (диоксид углерода). Пузырьки газа обволакиваются водой с пенообразователем, в результате создается устойчивая пена, которая может долго оставаться на поверхности жидкости.

Воздушно-механическая пена представляет собой смесь воздуха (~90 %), воды (~9,7 %) и пенообразователя (~0,3 %). Характеристикой пены является кратность — отношение объема полученной пены к объему исходных веществ (обычная кратность пены — до 20). В последнее время в практике тушения пожаров находит применение *высокократная пена* (кратность свыше 200), значительно более объемная и дольше сохраняющаяся. Она получается в генераторах высокократной пены, где воздух не подсасывается, а нагнетается под некоторым давлением.

Водяной пар применяют для тушения пожаров в помещениях объемом до 500 м^3 и небольших пожаров на открытых площадках и установках. Пар увлажняет горящие предметы и снижает концентрацию кислорода. Огнегасительная концентрация водяного пара в воздухе составляет примерно 35 % по объему.

Инертные и негорючие газы (азот, аргон, гелий, диоксид углерода) понижают концентрацию кислорода в очаге горения и тормозят интенсивность горения. Инертные

газы обычно применяют в сравнительно небольших по объему помещениях. Огнегасительная концентрация инертных газов при тушении в закрытом помещении составляет 31—36 % к объему помещения.

Водные растворы солей относятся к числу жидких огнегасительных средств. Применяются растворы бикарбоната натрия, хлоридов кальция и др. Соли, выпадая из водного раствора, образуют на поверхности горящего вещества изолирующие пленки, отнимающие теплоту.

Огнегасительное действие *галоидоуглеводородных огнегасительных составов* основано на химическом торможении реакции горения. Применяются составы: 3,5; 4НД; 7; СЖБ, БФ и др. (цифры 3, 5 и 7 означают, что эти составы в 3, 5 и 7 раз эффективнее диоксида углерода).

Огнетушащие порошки представляют собой мелко измельченные минеральные соли с различными добавками, препятствующими их слеживанию и комкованию. Они обладают хорошей огнетушащей способностью.

Сухой, чистый и просеянный песок тушит пожар почти так же, как водяной пар и инертные газы. При забрасывании песком горящего предмета происходят поглощение тепла и изоляция поверхности от кислорода воздуха.

Покрывала (асбестовые полотна, брезент, кошма) используют для тушения небольших горящих поверхностей и горящей одежды на человеке (происходит изоляция горящего вещества от доступа кислорода воздуха). *Механические средства* (брезент, войлок, песок, земля) применяются там, где горючие вещества еще не успели нагреться, то есть в начале воспламенения.

На практике применяют также *смачиватели*. Основное физическое свойство растворов смачивателей состоит в улучшении смачиваемости горючих веществ (например, резины, угольной пыли, волокнистых материалов, торфа). К смачивателям относят мыло, синтетические растворители, амилсульфаты, алкилсульфонаты и другие вещества.

13.2. Первичные средства пожаротушения

Для ликвидации начинающихся очагов пожара силами рабочих и служащих все производственные, складские, вспомогательные помещения, наружные установки, а также пожароопасные участки территории предприятия (организации) должны быть обеспечены по действующим

нормам первичными средствами пожаротушения, пожарным ручным инструментом и пожарным инвентарем.

Первичные средства пожаротушения: внутренние пожарные краны, ручные огнетушители, гидропульты, ручные насосы, бочки с водой, ящики с песком, кошмы, необходимый ручной пожарный инструмент и пожарный инвентарь (ведра, ломы, топоры, лопаты, кирки, багры, пожарные стенды, щиты и др.).

Средства тушения загораний и пожаров, которые могут быть эффективно использованы в начальной стадии пожара: внутренние пожарные краны, огнетушители, кошмы, песок.

Внутренний пожарный водопровод питается от сети наружного. Внутренние пожарные краны (ПК) устанавливаются в шкафах или нишах с остеклованной дверцой на площадках лестничных клеток, в коридорах на высоте 1,35 м от пола. Число кранов определяется из расчета взаимного перекрытия струи из рукавов длиной 10 м. Пожарные краны оборудованы пожарными рукавами длиной 10—20 м, пожарным стволом и быстросмыкающимися устройствами для присоединения рукавов. Производительность струи пожарного крана должна быть не менее 2,5 л/с.

Огнетушители предназначены для тушения загораний и пожаров в начальной стадии их развития. По виду огнегасительных веществ их подразделяют на химические пенные, воздушно-пенные, углекислотные, жидкостные, аэрозольные и порошковые. В зависимости от объема огнетушители бывают малолитражные (до 5 л), промышленные ручные (до 10 л), передвижные (более 10 л). Огнетушители маркируются буквами, характеризующими вид огнетушителя, и цифрами, обозначающими его вместимость (в литрах).

Наиболее распространены *химические пенные огнетушители* ОХП-10, ОП-М и ОП-9 ММ. Заряд пенных огнетушителей состоит из двух частей: кислотной и щелочной. Для приведения огнетушителя ОХП-10 в действие поворачивают ручку запорного устройства на 180°, переворачивают вверх дном и направляют в очаг загорания. При повороте ручки открывается кислотный стакан, кислотная и щелочная части заряда смешиваются и в результате их взаимодействия образуется углекислый газ (диоксид углерода), который интенсивно перемешивает жидкость, образуя пену. Давление в баллоне повышается до

9-12 ат и пена выбрасывается струей до 8 м (время действия до 65 с). Выпускаются также густопенный химический (ОП-М) и химический воздушно-пенный (ОХВП-10) огнетушители.

Воздушно-пенные огнетушители бывают ручные (ОВП-5 и ОВП-10) и стационарные (ОВП-100 и ОВПУ-250). Зарядом в них является 6 %-ный водный раствор пенообразователя ПО-1. Давление в корпусе создается сжатым диоксидом углерода, находящимся в специальных баллонах, расположенных внутри (или снаружи) огнетушителей. Воздушно-механическая пена образуется в раструбе, где раствор, выходящий из корпуса, перемешивается с воздухом.

Углекислотные огнетушители служат для тушения загораний углекислотой в газообразном или твердом (снегообразном) виде. Промышленность выпускает углекислотные огнетушители в ручном (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8) и транспортном (ОУ-25, ОУ-80, ОУ-400) вариантах. Эти огнетушители предназначены для тушения различных веществ, а также электроустановок под напряжением до 10 кВ (струя не электропроводна). Для приведения в действие огнетушителя его раструб направляют на очаг горения и нажимают курок затвора.

Углекислотно-бромэтиловые огнетушители ОУБ-3 и ОУБ-7 содержат заряд, состоящий из 97 % бромистого этила, 3 % сжиженного диоксида углерода и сжатого воздуха. Эти огнетушители применяются для тушения горящих твердых и жидких материалов, а также для тушения загораний в электроустановках под напряжением. Приводятся в действие при нажиме пусковой рукоятки и отключаются при ее отпускании. Дальность струи 5—6 м, время действия до 40 с.

Порошковые огнетушители получают все большее распространение из-за своих ценных характеристик (удобны в эксплуатации, не боятся минусовых температур и др.). Они выпускаются таких типов: ОП-1 «Момент», ОП-2А, ОП-10А, ОПС-10, ОП-100, ОППС-10, ОП-250, СП-120. Порошковый ручной огнетушитель ОП-10 служит для тушения небольших загораний щелочных металлов (натрия, калия), древесины, пластмассы и др. Для создания давления в корпусе и выталкивания порошка служит сжатый газ (азот, воздух, углекислый газ), находящийся в специальном баллончике. Огнетушитель ОПС-10 отличается только составом порошка.

Применяются также другие виды огнетушителей: жидкостные (ОЖ-5, ОЖ-10), аэрозольные хладоновые (ОАХ-0,5) и хладоновые (ОХ-3, ОХ-7), автоматические (УАП-А5, УАП—А8, УАП-А16), жидкие бромэтиловые (СЖБ-50) и др.

Кошма представляет собой грубое шерстяное или асбестовое полотнище. Ее подвешивают в свернутом виде на стене в заметном и доступном месте. Кошмы применяют для тушения загораний с малой площадью горения.

Песок обычно применяют там, где возможен разлив небольшого количества горючих и легковоспламеняющихся жидкостей. Песок хранят в специальных ящиках рядом с лопатами для забрасывания очага пожара.

13.3. Машины и аппараты пожаротушения

Все виды пожарной техники, предназначенной для объектов, подразделяются на следующие группы: пожарные машины (автомобили и мотопомпы); установки пожаротушения; огнетушители; средства пожарной и охранно-пожарной сигнализации; пожарные спасательные устройства; пожарный ручной инструмент; пожарный инвентарь (ГОСТ 12.4.009—83).

Каждое промышленное предприятие должно быть оснащено определенным количеством тех или иных видов пожарной техники в соответствии с общесоюзными или ведомственными нормами. Места размещения каждого вида пожарной техники должны быть обозначены указательными знаками. Подходы к огнетушителям и другому оборудованию, требующему ручного обслуживания, должны быть удобны и не загромождены. Для лучшей видимости элементы строительных конструкций (участки колонн и ограждений, пола) у мест расположения пожарной техники рекомендуется выделять красными полосами шириной 200—400 мм, а пожарную технику (огнетушители, пожарный инструмент и инвентарь, элементы установок пожаротушения и др.) окрашивать в красный цвет.

В помещениях категорий А, Б, В применяются стационарные установки пожаротушения, которые подразделяются на аэрозольные (галлоидоуглеводородные), жидкостные, водяные (спринклерные и дренчерные), паровые, порошковые. Под стационарными средствами пожаротушения подразумеваются такие, в которых все элементы

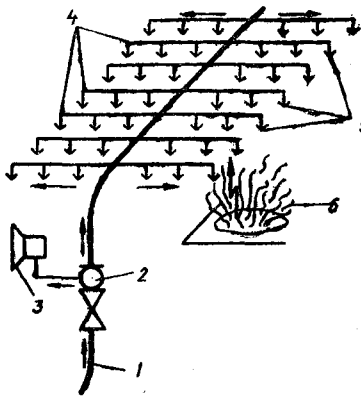


Рис. 34. Схема спринклерной установки водяной системы:
1 — магистральный трубопровод; *2* — контрольно-сигнальное устройство; *3* — сигнал; *4* — распределительный трубопровод; *5* — оросители (спринклерные головки); *6* — зона горения

смонтированы и постоянно находятся в готовности к действию. Такие установки могут быть автоматическими или дистанционными, то есть приводятся в действие автоматически (при отсутствии людей в здании) или людьми.

Из автоматических установок наибольшее распространение получили *спринклерные установки пожаротушения распыленной водой* (рис. 34). Они представляют собой сеть водопроводных труб, расположенных под перекрытием. В трубах постоянно находится вода (в неотапливаемых помещениях — воздух) под давлением и вмонтированы оросительные головки (спринклеры). Число головок выбирают из условия орошения одним спринклером 9—12 м^2 площади пола. При обычной температуре воздуха в помещении отверстие в спринклерной головке, через которое выходит вода, закрыто легкоплавким замком-клапаном. При повышении температуры этот замок плавится, вода поступает в головку, ударяется о розетку и разбрызгивается. Температура плавления замка (в зависимости от марки легкоплавкого припоя) может быть 72, 93, 141, 182 °С. Таким образом, спринклерная система обеспечивает подачу воды непосредственно в очаг пожара. Кроме того, одновременно подается сигнал тревоги.

Спринклерные установки имеют некоторые недостатки: во-первых, открываются лишь головки, оказавшиеся в зоне высокой температуры; во-вторых, спринклеры обладают сравнительно большой инерционностью (открываются через 2—3 мин после повышения температуры в помещении). Иногда необходимо подавать воду сразу на всю площадь помещения, а также значительно быстрее во времени (то есть инерционность срабатывания неприемлема). В этих случаях применяют *дренчерные установ-*

ки группового действия. В них вместо спринклерных головок (спринклеров) установлены дренчеры — открытые оросительные головки без замков. В этом случае при нормальной температуре в помещении выход воды (из магистрального водопровода) в сеть закрыт клапаном группового действия. Клапан открывается автоматически или вручную; при этом подается сигнал тревоги. Кроме водяных имеются пенные спринклерные и дренчерные установки. На предприятиях находят применение и другие стационарные установки пожаротушения — паровые, воздушно-пенные, автоматические установки газового тушения и др.

Установки неавтоматического пожаротушения делят на стационарные, полустационарные и передвижные. *Стационарные установки* — это неподвижно смонтированные аппараты, трубопроводы и оборудование, предназначенные для подачи средств тушения в защищаемые ими объекты. По масштабам защиты их делят на местные, защищающие отдельные аппараты, двигатели, сушильные камеры, и общие, защищающие весь завод, фабрику, корабль и т. п.

Для защиты пожароопасных складов (дерева, селитры и т. п.) и сооружений, где допускается применять воду, стационарно монтируют постоянно направленные на эти склады высокопроизводительные лафетные стволы, которые обеспечиваются водой через специальные насосные станции.

Установки пожаротушения паром применяют на предприятиях нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (в насосных станциях по перекачке нефтепродуктов в целях регенерации масел и др.). Установка представляет собой систему трубопроводов, подключенных к заводскому паропроводу. Для защиты от пожаров открытых площадок устраивают полустационарные паровые установки, используется также пар для тушения пожаров в закрытых помещениях (объемом не более 500 м^3).

Стационарная установка для тушения пожара воздушно-механической пеной в резервуаре с нефтепродуктами состоит из генераторов воздушно-механической пены (ГВП-600, ГВГХ-200 и др.), трубопроводов, насосов, дозирующих устройств пенообразователя и др. Согласно СНиП 2.04.09-84 стационарные установки неавтоматического пожаротушения следует предусматривать для ту-

шения пожаров наземных резервуаров нефти и нефтепродуктов емкостью до 5000 м³ на складах, а также на складах для тушения пожаров подземных резервуаров емкостью 5000 м³ и более, сливно-наливных устройств для железнодорожных и автомобильных цистерн.

Полустационарные установки имеют неподвижные и передвижные части (пожарные рукава, стволы и т. п.) или работают в сочетании с передвижными установками.

Полустационарные установки воздушно-пенного тушения от стационарных отличаются тем, что в них отсутствуют насосные агрегаты, емкости для хранения пенообразователя. Резервуары оборудуются пеногенераторами и трубопроводами так же, как и у стационарных установок, а пенообразующая смесь и вода для тушения и охлаждения резервуаров в это оборудование подаются передвижными воздушно-пенными и насосными установками.

К передвижным относятся установки пожаротушения, в которых все оборудование и средства пожаротушения доставляются к месту пожара на различных транспортных средствах.

Передвижные установки, представляющие собой специальные пожарные автомобили воздушно-пенного тушения, предусматриваются для тушения пожаров наземных и подземных резервуаров нефтепродуктов емкостью менее 5000 м³.

Передвижные пожарные машины в зависимости от назначения делят на основные, специальные и вспомогательные. *К основным* относятся машины, оборудованные для подачи огнетушащих средств (воды, пены, углекислоты, порошков, газоводяных и других составов) на пожар: автоцистерны, автонасосные станции; автонасосы и насосно-рукавные автомобили; автомобили воздушно-пенного, порошкового, углекислотного и газоводяного тушения; аэродромные автомобили; самолеты и вертолеты; корабли и катера; поезда и дрезины, мотопомпы.

К специальным относятся машины, предназначенные для выполнения специальных работ при тушении пожара: автолестницы и коленчатые автоподъемники; автомобили связи и освещения; технические, газо- и дымозащитные, водозащитные и рукавные автомобили; штабные и оперативные автомобили, оборудованные сигналом «Сирена» и радиостанцией.

К вспомогательным пожарным машинам относятся: автотопливозаправщики, передвижные авторемонтные мастерские, тракторы, тягачи, грузовые и легковые автомобили, автобусы и др.

13.4. Средства извещения и сигнализации о пожаре (пожарная сигнализация и связь)

Пожарная сигнализация и связь предназначены для быстрой и точной передачи сообщения о пожаре и месте его возникновения, приведения в действие средств огнетушения, централизованного управления пожарными подразделениями и оперативного руководства тушением пожара. Каждый объект народного хозяйства должен быть обеспечен надежными средствами извещения или сигнализации о пожаре. Наиболее распространенным средством извещения являются городская и местная телефонная связь (пассивный метод контроля пожарных событий), когда для вызова пожарной команды набирается номер 01. Более быстрым и надежным видом пожарной связи и сигнализации является электрическая пожарная сигнализация (активный метод контроля пожарных событий). Различные системы электрической пожарной сигнализации (ЭПС) предназначены для обнаружения самой начальной стадии пожара (загорания) и сообщения о месте его возникновения.

Пожарную сигнализацию и связь по назначению подразделяют следующим образом:

охранно-пожарная сигнализация, извещающая органы пожарной охраны (предприятия, города) о пожаре и месте его возникновения — обеспечивается автоматической (при помощи датчиков-извещателей) или неавтоматической (нажатием кнопки) пожарной сигнализацией, а также при помощи радио-и телефонной связи;

диспетчерская связь, обеспечивающая оперативное управление пожарными частями и взаимодействие со службами города (милиция, скорая помощь, служба водо- и электроснабжения и др.) — обеспечивается телефонной и радиосвязью;

оперативная радиосвязь, обеспечивающая оперативное управление пожарными отделениями и расчетами на месте пожара — обеспечивается при помощи ранцевых радиостанций и специальных автомобилей связи.

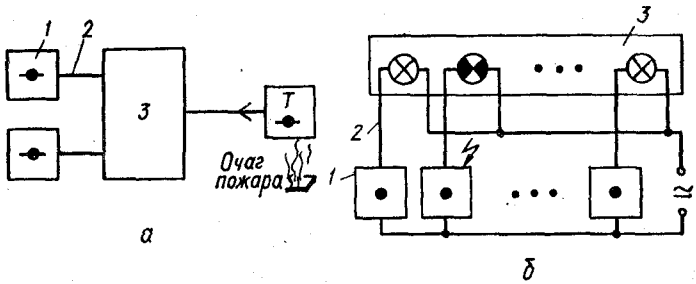


Рис. 35. Схемы пожарной сигнализации:
а — лучевая; *б* — шлейфовая; *1* — пожарный извещатель; *2* — линия связи; *3* — приемная станция

Согласно требованиям СНиП, средствами противопожарной автоматики оборудуют производственные здания категорий А, Б и В по пожарной опасности.

Основные элементы электрической пожарной сигнализации (рис. 35):

извещатели (датчики), монтируемые по территории или в зданиях объектов, предназначенных для сообщения о пожаре;

приемные аппараты (станции), обеспечивающие прием сигналов от извещателей;

линейные сети или кабели, соединяющие извещатели с приемными аппаратами;

источники электропитания.

Извещатели могут быть ручными или автоматическими. *Ручные извещатели* выполняются в виде кнопок, которые устанавливаются в коридорах и на лестничных площадках.

В зависимости от схемы включения извещателей в проводную сеть установки делят на лучевые и кольцевые (шлейфные). *При лучевой схеме* от приемной станции к каждому извещателю устраивается отдельная проводка (луч состоит из двух отдельных проводов — прямого и обратного). В каждый луч может быть включено параллельно до 3—4 извещателей. Лучевую систему применяют при небольшой протяженности линии пожарной сигнализации.

Шлейфная (кольцевая) система электрической пожарной сигнализации отличается тем, что извещатели включены последовательно в однопроводную линию (шлейф), начало и конец которой соединены с приемной станцией.

В один шлейф обычно включают до 50 извещателей. Действие шлейфной системы основано на принципе передачи от извещателя на приемную станцию определенного числа импульсов — каждого данного извещателя. Приемные станции того или иного типа выявляют номера срабатывающих извещателей при помощи специальных устройств, представляющих собой искатели или многократные переключатели и записывающие устройства.

Автоматические извещатели в зависимости от чувствительного элемента и фактора пожарной опасности, определяющего их срабатывание, подразделяются на следующие группы:

тепловые, реагирующие на повышение температуры воздуха окружающей среды;

дымовые, реагирующие на появление дыма;

световые, реагирующие на появление и излучение ультрафиолетовых лучей в открытом пламени;

комбинированные, реагирующие на тепловой и дымовой факторы.

Тепловые, или *термоизвещатели*, подразделяют на максимальные, дифференциальные и максимально-дифференциальные.

Максимальные термоизвещатели включаются, когда температура окружающего воздуха достигает критического значения (их применяют в помещениях, где перепад температур воздуха превышает 15 °С) — извещатели типа АТИМ, ПТИМ. Дифференциальные термоизвещатели срабатывают при определенной скорости нарастания температуры окружающего воздуха, которую принимают в пределах 5—10 °С в 1 мин.

Максимально-дифференциальные извещатели являются комбинированными, то есть работающими одновременно и при определенной скорости нарастания температур и при достижении критических температур воздуха в помещении.

Дымовые извещатели рассчитаны на обнаружение продуктов сгорания в воздухе. В устройстве имеется ионизационная камера. При попадании в нее дыма от пожара ионизационный ток уменьшается; при этом увеличивается напряжение в камере и извещатель включается. Время срабатывания дымового извещателя при попадании в него дыма не превышает 5 с.

Световые извещатели устроены на принципе действия ультрафиолетового излучения пламени. В них в качестве

чувствительных элементов применены счетчики фотонов, обладающие высокой чувствительностью и способные обнаруживать даже небольшие очаги пламени (например, горение спички) практически мгновенно. Несмотря на высокую чувствительность, световые извещатели не срабатывают от дневного света, проходящего через оконные стекла, и от электрического освещения, так как ультрафиолетовые лучи поглощаются стеклами окон и ламп накаливания. Световые извещатели применяют в закрытых помещениях, в которых отсутствуют источники ультрафиолетовых излучений, открытое пламя, работающие сварочные аппараты, электрические искры и др.

Выбор типа извещателя для автоматической пожарной сигнализации и места установки зависит от специфики технологического процесса, вида горючих материалов, способов их хранения, площади помещения и т. п.

Тепловые извещатели могут быть использованы для контролирования помещений из расчета один извещатель на 10—25 м² пола. Дымовой извещатель с ионизационной камерой способен (в зависимости от места установки) обслуживать площадь 30—100 м². Световыми извещателями можно контролировать площадь около 400—600 м².

Автоматические извещатели, как правило, устанавливают на потолке или подвешивают на высоте 6—10 м от уровня пола.

13.5. Организация пожарной охраны

В нашей стране обеспечение пожарной безопасности носит государственный характер. Начиная с декрета СНК «Об организации государственных мер борьбы с огнем», подписанного В. И. Лениным 17 апреля 1918 г., заложены основы пожарного дела в области предупреждения пожаров, совершенствования пожарной техники. Пожарная охрана осуществляется по трем направлениям: государственному, ведомственному и общественному, каждое из которых имеет свои специфические особенности. Общее руководство всеми структурными подразделениями государственной пожарной охраны осуществляет Главное управление пожарной охраны (ГУПО МВД СССР). Органы ведомственной пожарной охраны организуются при министерствах и ведомствах для оперативного руководства предприятиями отрасли по предотвращению пожаров.

Ответственность за пожарную безопасность предприятия возлагается на руководителей предприятия, которые обязаны назначить приказом должностных лиц, обеспечивающих пожарную безопасность на отдельных объектах (цехах, участках, установках, лабораториях, складах и т. п.). В обязанности руководителей предприятий входит: организация пожарной охраны объекта, организация обучения рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, разработка перспективных планов внедрения средств пожаротушения и мероприятий по повышению уровня пожарной безопасности предприятия; разработка инструкции о порядке работы с пожароопасными веществами и материалами, а также инструкций о соблюдении противопожарного режима и о действиях людей при возникшем пожаре; изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности и т. п.

В целях улучшения работы по предупреждению и тушению пожаров в помощь пожарной охране на каждом предприятии на общественных началах организуются добровольные пожарные дружины (ДПД) и пожарно-технические комиссии. Такая форма общественной пожарной охраны используется в целях привлечения широких масс рабочих, служащих, ИТР предприятий к участию в проведении противопожарных профилактических мероприятий и к активной борьбе за сохранение социалистической собственности от пожаров.

В состав пожарно-технической комиссии, назначаемой приказом руководителя предприятия, входят: главный инженер (председатель), начальник пожарной охраны, главный энергетик, главный механик, главный технолог, инженер по охране труда и другие специалисты. Задачи пожарно-технической комиссии: выявление нарушений и недостатков технологических процессов, которые могут привести к возникновению пожаров, и разработка мероприятий по их устранению; содействие органам пожарного надзора в их работе; создание строгого противопожарного режима; организация массовой разъяснительной работы среди персонала.

При проверке цехов и складов следует руководствоваться «Типовыми правилами пожарной безопасности для промышленных предприятий», отраслевыми правилами пожарной безопасности, а также инструкциями о мерах пожарной безопасности для цехов и складов.

При проверке цехов с пожаровзрывоопасной технологией необходимо проконтролировать:

выполнение технологических регламентов, сверяя показания приборов с технологической картой, прочность и герметичность аппаратов, трубопроводов, хранилищ во избежание утечки паров и газов в производственные помещения и образования взрывоопасных концентраций;

продувку аппаратов паром или негорючими газами перед пуском в работу и ремонтом, а также герметичность отключения ремонтируемых аппаратов от коммуникаций;

поддержание безопасных соотношений между горючими парами, газами и кислородом или воздухом при их одновременной подаче в технологические аппараты;

регулирование уровня взрывопожароопасного продукта в аппаратах и хранилищах во избежание их переполнения и утечки продукта;

своевременный выпуск пара и газа в атмосферу при возникновении избыточных давлений;

содержание паров и газов в помещениях;

поддержание безопасных температур и давлений в аппаратах, предупреждающих появление источников воспламенения и взрывов, устройство предохранительных клапанов и стравливающих линий во избежание разрыва аппаратов при резком повышении давления;

подачу охлаждающей жидкости в рубашки аппаратов, теплообменников, конденсаторов и т. п.;

исправность системы охлаждения аппаратов;

раздельное хранение окислителей и горючих веществ для предотвращения их самовоспламенения.

При проверке деревообделочных цехов необходимо следить за ограничением складируемых лесоматериалов и не допускать появления источников воспламенения. Очень важно, чтобы технологическое оборудование цехов, приборы отопления и электрооборудование очищались от древесной пыли, стружек и других горючих материалов не реже одного раза в смену, а строительные конструкции и электросветильники — не реже одного раза в две недели.

При повышении температуры подшипников более 45—50 °С оборудование должно быть остановлено для выяснения и устранения причин перегрева.

В складах пожары чаще всего происходят вследствие нарушения элементарных правил пожарной безопасности: неправильной эксплуатации приборов отопления

и освещения; неисправного устройства временной электропроводки, применения открытого огня, курения в недозволенных местах, нарушения требований по хранению пожаро- и взрывоопасных веществ и материалов.

Формы организации и задачи профилактической работы по обеспечению пожарной безопасности на объектах народного хозяйства отличаются многогранностью и разноплановостью и требуют постоянного внимания со стороны руководителей предприятий (организаций).

Учебно-поисковая задача

Первопричины пожара, а также причастность аварийных режимов в электропроводках к возникновению пожара.

При решении этой задачи прежде всего необходимо определить продолжительность любого пожара по известному количеству горючего вещества и скорости его выгорания в данных условиях. Практика показывает, что продолжительность пожара может колебаться в значительных пределах, однако в большинстве случаев не превышает 2—3 ч.

Необходимость проведения пожарной электротехнической экспертизы возникает в тех случаях, когда при осмотре места пожара будут обнаружены следы и выявлены факты, свидетельствующие о существовании аварийных режимов в электрооборудовании объекта, в котором произошел пожар. К ним могут быть отнесены: локальные оплавления на токоведущих частях электрооборудования, срабатывание защиты (плавких вставок предохранителей, реле, автомата), ненормальное функционирование электроустановок до пожара (перенапряжение, усиленное гудение, чрезмерный нагрев и др.).

Причастность аварийных режимов в электроустановках к случаям возникновения пожара считается обоснованной при следующих условиях: имеются доказательства о существовании аварийного режима; место возникновения пожара и аварийного режима совпадает; время возникновения аварийного режима предшествовало времени возникновения пожара; тепловой импульс аварийного режима был достаточным для зажигания горючей системы.

Комплекс этих условий позволяет с достаточной достоверностью сделать вывод о причастности аварийного режима электроустановки к возникновению пожара. Однако на практике возникают трудности в решении данной задачи при несоблюдении одного или нескольких перечисленных условий.

При расследовании причины пожара, если есть подозрения на причастность аварийного режима в электрической проводке сгоревшего объекта, необходимо ответить на два вопроса:

1) был ли аварийный режим в электропроводке?

2) если аварийный режим был, то когда произошел — до пожара или во время пожара?

Установление этих фактов довольно затруднительно: при коротком замыкании срабатывание защиты может и не произойти, если место короткого замыкания будет расположено на зна-

чительном удалении от источника электрической энергии или защита сильно загрублена.

Место возникновения аварийного режима обычно устанавливается путем поиска места оплавления проводников. Оплавление же проводников, в свою очередь, может быть вызвано двумя причинами: током короткого замыкания или температурой пожара. В первом случае термический процесс чрезвычайно скоротечный и носит исключительно локальный характер. Поэтому при действии тока короткого замыкания характерными признаками короткого замыкания являются: незначительное количество расплавленного металла, высокая температура нагрева и неизбежность образования зоны резкого перехода от структуры расплавленного металла к исходной. Тепловые процессы в проводниках при попадании их в зону пожара характеризуются сравнительно низкими скоростями изменения температуры вдоль проводника (на значительную длину), а поэтому резкого изменения структуры металла не происходит. На основании данного анализа можно с достаточной точностью установить первопричину пожара.

Пример 11. Определить расход воды на тушение пожара во вспомогательном здании объемом менее 25 тыс. м³.

Р е ш е н и е. Определяем расход воды на внутреннее пожаротушение $Q_в$, л, из выражения

$$Q_в = n_с q_с t_{пж},$$

где необходимое число струй $n_с = 1$ и расход воды в одной струе $q_с = 2{,}5$ л/с приняты по табл. 13.

Таблица 13. **Нормы расхода воды на внутреннее тушение пожара**

Назначение зданий	Объем зданий, тыс.м³	Число струй $n_с$	Расход воды одной струей $q_с$, л/с
Производственные	Любой	2	2,5
Общественные и вспомогательные	⩾25	2	2,5
То же	<25	1	2,5

Задаемся временем тушения пожара $t_{пж} = 360$ с:

$$Q_в = 1 \cdot 2{,}5 \cdot 360 = 900 \text{ л}.$$

Пример 12. На железобетонном полу механического цеха разлит 1 л ацетона; при этом образовалась лужа диаметром 1 м (или поверхностью $F = 0{,}72$ м²). Температура в помещении $t = +20$ °С, атмосферное давление $B = 750$ мм рт. ст. Определить время испарения 1 л ацетона, когда может образоваться взрывоопасная концентрация и в каком объеме?

Р е ш е н и е. 1. Определяем количество выделений в места разлива ацетона m, г/ч:

$$m = 4rDt\frac{M}{Vt}\cdot\frac{P_{нас}}{B},$$

где $r = 50$ см (радиус образовавшейся лужи ацетона); D — коэффициент диффузии $\left(D_0 = \frac{0{,}8}{\sqrt{58{,}08}} = 0{,}105\ \frac{см^2}{с}\right.$, а при $t =$ $= 20$ °С $\left.Dt = 0{,}121\ см^2/с\right)$; $V_t = 24050\ см^3$ — объем испарения; $P_{нас} = 185$ мм рт. ст.— давление насыщенного пара для ацетона; $B = 750$ мм рт. ст.— атмосферное давление; $M = 58{,}08$ — молекулярный вес ацетона;

$$m = \frac{4 \cdot 50 \cdot 0{,}121 \cdot 58{,}08 \cdot 185}{24050 \cdot 750} = 0{,}0144\ г/с.$$

2. Определяем время испарения 1 л ацетона

$$\tau = \frac{Q \cdot \rho}{m \cdot 3600}$$

($Q = 1000$ г; $\rho = 0{,}792$ г/см^3 — плотность ацетона);

$$\tau = \frac{1000 \cdot 0{,}792}{0{,}0144 \cdot 3600} = 15{,}4\ ч.$$

3. Нижний предел взрываемости паров ацетона $K_{об} =$ $= 2{,}6$ %, что соответствует следующей весовой концентрации (при 20 °С):

$$K_{вес} = \frac{K_{об} \cdot M \cdot 10}{v_t} = \frac{2{,}6 \cdot 58{,}08 \cdot 10}{24{,}05} = 62{,}5\ мг/л\ (г/м^3).$$

4. 1 л испаряемого ацетона или 792 г паров могут образовать взрывоопасную концентрацию в объеме $792 : 62{,}5 = 12{,}6$ м^3 воздуха; на образование этой взрывоопасной концентрации потребуется 15 ч. При $t = 40$ °С скорость испарения составляет 0,0326 г/с; 1 л ацетона испарится за 5,2 ч, то есть опасность взрыва наступит раньше.

Глава 14

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

14.1. Основные направления работ по охране окружающей среды

Характерной чертой периода НТР являются внедрение в промышленность новых, более эффективных технологических процессов, резкое расширение масштабов

производства, быстрый рост потребления материальных и энергетических ресурсов. Это, в свою очередь, привело к значительному росту отрицательного воздействия на окружающую среду. Проблема охраны окружающей среды в настоящее время стала одной из важнейших. Комплексный характер этой проблемы определяется сложностью системы, включающей природу, общество и производство. В то же время оптимальное развитие этой системы связано с социальными, экологическими, техническими, экономическими и международными аспектами проблемы.

В СССР принимаются необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли, ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте атмосферы, воспроизводства природных богатств. Защита окружающей среды — это комплексная проблема: наряду с природоохранительными задачами она решает также и социально-экономическую задачу — улучшение условий жизни человека, сохранение его здоровья. Основные направления по решению проблем защиты окружающей среды: совершенствование технологических процессов и разработка нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду; замена токсичных отходов нетоксичными и неутилизируемых отходов на утилизируемые и др.

Важное мероприятие по защите окружающей среды — рациональное размещение источников загрязнения: устройство санитарно-защитных зон; вынесение промышленных предприятий с вредными выбросами за пределы города; учет «розы ветров» и др. Большое значение имеет контроль качества окружающей среды.

К пассивным методам защиты относятся мероприятия по ограничению выбросов промышленного производства с последующей утилизацией или захоронением отходов. Активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является «безотходная технология» — комплекс мероприятий в технологических процессах от обработки сырья до использования готовой продукции, в результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов. В этот комплекс мероприятий входят: создание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов; разработка

систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы; разработка бессточных технологических систем и водооборотных циклов (с очисткой сточных вод); создание территориально-промышленных комплексов (ТПК), имеющих замкнутую структуру материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса. Эта форма защиты окружающей среды является наиболее перспективной.

Все промышленные отходы по агрегатному состоянию делятся на газообразные, жидкие и твердые. В зависимости от физико-химических свойств отходов и от их количества применяют различные методы обезвреживания и переработки: механические, химические, биологические, сорбционные (поглощающие), термические, а также комбинированные.

14.2. Защита атмосферы

Можно выделить два основных направления по обеспечению чистоты атмосферы от загрязнений: сокращение выбросов газов; обезвреживание выбросов, содержащих вредные вещества.

Первая проблема решается за счет применения более прогрессивных технологических схем процессов и оборудования повышенной газоплотности, вторая — за счет применения в первую очередь сорбционных методов с утилизацией извлекаемых компонентов, а в отдельных случаях — за счет сжигания. Широко применяются газо-, пыле- и туманоулавливающие аппараты и системы.

Газопылеулавливающие установки подразделяются на следующие группы: электролитической очистки газов (сухие, мокрые, комбинированные); тканевые, волокнистые и пористые фильтры (мешочные, рамные, рукавные со струйной, импульсной и обратной продувкой); сухие инерционные пылеуловители (циклоны одиночные, групповые и батарейные, акустические коагуляторы); мокрые пылеуловители (полые, насадочные скрубберы, циклоны с мокрой пленкой и др.); установки химической очистки газов (абсорбционные, адсорбционные, рекуперационные); каталитической очистки и электрофильтры.

Методы очистки промышленных выбросов от газообразных примесей по характеру протекания физико-хи-

мических процессов делятся на четыре группы: промывка выбросов растворителями (метод абсорбции); промывка выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (метод хемосорбции); поглощение газообразных примесей твердыми активными веществами (метод адсорбции); поглощение примесей путем каталитического превращения.

Метод абсорбции заключается в разделении газовоздушной смеси на составные части путем поглощения одного или нескольких газовых компонентов этой смеси поглотителем (абсорбентом) с образованием раствора.

Метод хемосорбции основан на поглощении газов и паров твердыми или жидкими поглотителями с образованием малолетучих или малорастворимых химических соединений.

Метод адсорбции основан на физических свойствах некоторых твердых тел селективно извлекать и концентрировать на своей поверхности отдельные компоненты из газовой смеси.

Каталитические методы основаны на взаимодействии удаляемых веществ с одним из компонентов, присутствующих в очищаемом газе, или со специально добавляемым в смесь веществом на твердых катализаторах. Каталитическим методом превращают токсичные компоненты промышленных выбросов в вещества безвредные или менее вредные для окружающей среды путем введения в систему дополнительных веществ — катализаторов.

Соблюдение предельно допустимой концентрации вредных веществ в воздухе требует систематического контроля за фактическим их содержанием в атмосферном воздухе и в рабочих зонах на предприятиях. Для этого используются различные методы контроля соблюдения гигиенических нормативов. Для каждого источника загрязнения устанавливают предельно допустимый выброс (ПДВ) вредных веществ в атмосферу и систему контроля за его соблюдением. Наблюдения за загрязнением атмосферы ведутся на стационарных, маршрутных и передвижных постах. В крупных промышленных центрах СССР функционируют автоматизированные системы контроля за уровнем загрязнения воздуха.

14.3. Защита водного бассейна

Объем и качество потребляемой в технологическом процессе воды и состав отводимых в открытые водоемы сточных вод зависят от технологии производства, вида выпускаемой продукции, уровня технического оснащения предприятий, а также очистных сооружений и установок. Наиболее перспективно создание замкнутых систем водопользования.

Очистка сточных вод от механических примесей осуществляется такими методами: процеживания, отстаивания, отделения механических частиц в поле действия центробежных сил и фильтрования; от маслосодержащих примесей — отстаиванием, обработкой в гидроциклонах, флотацией и фильтрованием, электрофлотацией, обработкой специальными реагентами.

Для очистки сточных вод от металлов и их солей применяются следующие методы: реагентные, сорбционные, ионообменные, электрохимические (электролиз, электродиализ, электрокоагуляция, гиперфильтрация), биохимические, а также ведется нейтрализация сточных вод для удаления из них кислот и щелочей.

При реагентных методах очистки, широко применяющихся на предприятиях, происходят следующие основные химические процессы: окисление или восстановление растворенных в воде примесей с образованием нетоксичных продуктов; переход растворимых примесей в нерастворимые с последующим разделением твердой и жидкой фаз и нейтрализация содержащихся в сточных водах свободных кислот и щелочей.

Очистка сточных вод ведется в две стадии: сточные воды очищаются в локальных очистных сооружениях от примесей, наиболее характерных для данного технологического процесса, и далее осуществляется доочистка общего стока предприятия.

Охрана вод включает систему мер, направленных на предотвращение и устранение последствий загрязнения, засорения и истощения вод. Нормы охраны вод — это значения показателей, соблюдение которых обеспечивает экологическое благополучие водных объектов и необходимые условия охраны здоровья населения. Важнейшее водоохранное мероприятие — регламентирование государственными стандартами предельно допустимых значений показателей загрязненности контролируемой водной

среды. Контроль качества воды — проверка соответствия показателей качества воды установленным нормам и требованиям. Основные объекты, определяющие выбор местоположения пунктов наблюдения за уровнем загрязнения поверхностных вод суши: места сброса сточных и ливневых вод городов и крупных поселков (реки, озера, водохранилища); места сброса сточных вод отдельными крупными промышленными предприятиями; места сброса вод от электростанций; места сброса вод с орошаемых, осушаемых земель и др. В СССР создана автоматизированная система контроля качества воды (АНКОС-В).

14.4. Утилизация и ликвидация промышленных отходов

Промышленные отходы делятся на твердые и жидкие. Основными направлениями ликвидации и переработки твердых отходов (кроме металлоотходов) являются вывоз и захоронение на полигонах, сжигание, складирование и хранение на территории промышленного предприятия до появления новой технологии переработки их в полезные продукты (сырье). Основные операции первичной обработки металлоотходов — сортировка, разделка и механическая обработка. Создаются специальные цехи для утилизации вторичных металлов. Наиболее рациональным методом ликвидации пластмассовых отходов является высокотемпературный нагрев без доступа воздуха (пиролиз), в результате которого из отходов пластмасс в смеси с другими отходами (дерево, резина и др.) получаются ценные продукты (пирокарбон, горючий газ, жидкая смола).

Технологический цикл обработки осадков сточных вод включает следующие виды обработки, ликвидации и утилизации: уплотнение (гравитационное, флотационное, центробежное, вибрационное); обезвоживание (сушка на иловых площадках, фильтр-прессование, вакуум-фильтрация, центрифугирование, виброфильтрование, термическая сушка); ликвидация (сжигание в печах, жидкофазное окисление, сброс в накопитель, закачка в земляные пустоты, вывоз на свалки). При возможности утилизации после уплотнения идет процесс стабилизации (сбраживание, аэробная стабилизация), кондиционирование (обработка неорганическими реагентами, тепловая обработка, обработка полиэлектролитами, замораживание,

электрокоагуляция), утилизация (использование в сельском хозяйстве, производстве строительных материалов, производстве сорбентов, регенерации металлов).

Сбор радиоактивных отходов производится раздельно, они запрессовываются в специальные емкости, после чего ведется их захоронение в землю на достаточно большую глубину в малодоступных местах.

Учебно-поисковая задача

Критерии, по которым оценивается максимальная допустимая нагрузка на человека от воздействия факторов окружающей среды.

В реальных условиях человек подвергается комплексному действию химических, физических и биологических факторов окружающей среды. Фактическое загрязнение окружающей среды выражается в виде реальной нагрузки воздействия на организм человека указанных факторов. Именно эта реальная нагрузка определяет возможные изменения в состоянии здоровья населения. В основу понятия «максимальная допустимая нагрузка» (МДН) должны быть положены те же принципы, которые использованы при определении ПДК, ПДД, ПДУ — предельно допустимых концентрации, дозы, уровня тех или иных факторов окружающей среды. Следовательно, МДН — это такая максимальная интенсивность воздействия всей совокупности факторов окружающей среды, которая не оказывает прямых или косвенных вредных влияний на организм человека и его потомство и не ухудшает санитарных условий жизни. Мерой максимально допустимой нагрузки не могут быть обычно принятые единицы измерения содержания или уровней тех или иных факторов в окружающей среде (мг/м^3, мг/л, Вт/см^2 и т. д.). Мера МДН должна быть тесно связана с этими единицами и быть их производной. Только в таком случае она будет критерием качества среды. В качестве размерности максимально допустимой нагрузки предлагается использовать относительные единицы, выражаемые в долях от ПДК, ПДД, ПДУ различных факторов окружающей среды. В связи с этим необходимо установить биологическую эквивалентность последних. Для решения этой задачи важно определить количественные закономерности взаимодействия организма и различных факторов окружающей среды, тип зависимости, интенсивность воздействия (время-эффект). Установления гигиенических нормативов по отдельным факторам среды недостаточно. Необходимо установление максимально допустимой нагрузки воздействия, отражающей всю сложность взаимодействия организма и среды. Поэтому на повестку дня поставлена проблема определения реальных нагрузок на человека с учетом конкретных условий. В качестве примера можно привести химическую нагрузку на человека в условиях жилых и общественных зданий, где источником химического загрязнения являются строительные и отделочные конструкции, изготовленные из полимерных материалов. В спортивных сооружениях сейчас широко используются полимерные материалы в качестве искусственных покрытий (беговых дорожек, игровых площадок

и т. п.). Эти материалы в условиях закрытых помещений могут выделять в воздушную среду токсические вещества в концентрациях, нередко превышающих их предельно допустимое количество для атмосферного воздуха. Одной из важнейших характеристик воздушной среды является ее ионизация: при отсутствии в воздухе легких ионов у людей понижается трудоспособность, ухудшается самочувствие, появляются головные боли, недомогание. Наиболее наглядным свидетельством присутствия в воздухе посторонних веществ является высокая величина ионного фактора загрязнения. Таким образом, проблемы правильного определения максимально допустимой нагрузки на человека требуют еще всестороннего исследования и научных разработок.

Пример 13. На предприятии необходимо определить степень очистки газов от сернистого ангидрида, выбрасываемых из абсорбера в количестве $G = 800$ г/с через трубу высотой $h = 60$ м. Газ холодный, поэтому возвышением струи над устьем трубы Δh пренебрегаем. Скорость ветра $v_0 = 5$ м/с (на уровне 10 м от земли принимается $v_0 = 4 - 6$ м/с, а на высоте дымовой трубы определяется по формуле $v = \varphi v_0$, где φ имеет следующие значения при $h = 10$ м: $\varphi = 1$; 20—1,15; 40—1,3; 60—1,4; 80—1,46; 100—1,5; 120—1,54; 140—1,57; 160—1,6; 180—1,63; 200—1,65.

Эффективная высота выброса газов (расстояние от земли до горизонтальной оси газового потока) $H = h + \Delta h$, где $\Delta h = \frac{1{,}9Dw}{\varphi v_0}$ (D — диаметр устья дымовой трубы, м; w — скорость выхода газов из дымовой трубы, м/с).

Расстояние от трубы до места у поверхности земли, где может возникнуть максимальная концентрация, определяется по формуле

$$x_м = 20H, \text{ м}.$$

Р е ш е н и е. 1. Определяем максимальную концентрацию:

$$C_{max} = \frac{94G}{v_0 H^2} = \frac{94 \cdot 800}{5 \cdot 60^2} = 4{,}2 \text{ г/м}^3.$$

По нормам для SO_2 допустимая максимально разовая концентрация должна быть не более 0,5 мг/м³.

Следовательно, необходимая степень очистки газа перед выбросом должна быть не менее

$$\eta = \frac{C_{max} - C_{доп}}{C_{max}} 100 = \frac{4{,}2 - 0{,}5}{4{,}2} 100 \approx 88\ \%.$$

2. Определяем необходимую высоту трубы, чтобы при тех же условиях выброса обойтись без очистных установок. Решаем то же уравнение относительно H:

$$H = \sqrt{\frac{94G}{v_0 C_{доп}}} = \sqrt{\frac{94 \cdot 800}{5 \cdot 0{,}5}} = 173 \text{ м},$$

то есть принимаем ближайшую стандартную дымовую трубу высотой 180 м.

Пример 14. Рассчитать нефтеловушку для очистки производственных сточных вод, содержащих нефтепродукты. Исходные данные: средний расход сточных вод $Q_{ср.сут} = 8000$ м³/сут; часовой коэффициент неравномерности $k_r = 1{,}2$; содержание нефтепродуктов в загрязненной воде $C_1 = 150$ мг/л, в очищенной — не более $C_2 = 60$ мг/л.

Р е ш е н и е. 1. Максимальный секундный расход на нефтеловушку

$$Q_{max} = Q_{ср.\,сут} k_r / 24 \cdot 3600 = 0{,}11 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. В соответствии с СНиП принимаем: число секций нефтеловушки $n = 2$; расчетная скорость движения воды $v = 0{,}004$ м/с; гидравлическая крупность (скорость всплывания частиц) $U_0 = 0{,}6$ мм/с; K — коэффициент, зависящий от типа отстойника; для горизонтальных отстойников $K = 0{,}5$.

3. Определяем размеры нефтеловушки:

Ширина секций

$$B = Q_{max} / nHv = 0{,}11/2 \cdot 2 \cdot 0{,}004 = 6{,}9 \text{ м}.$$

Длина

$$L = vH/KU_0 = 0{,}004 \cdot 2/0{,}5 \cdot 0{,}0006 = 26{,}7 \text{ м}.$$

4. Эффект очистки сточной воды от нефтепродуктов

$$Э = (C_1 - C_2)\, 100/C_1 = (150 - 60)\, 100/150 = 60\ \%.$$

5. Количество уловленных за сутки нефтепродуктов

$$G_н = C_1 \cdot ЭKQ_{ср.\,сут}/1000 \cdot 1000 = \frac{150 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}5 \cdot 8000}{1000 \cdot 1000} =$$

$$= 0{,}36 \text{ т/сут}.$$

Приложение 1

Программированный контроль знаний по охране труда

Билет № 1

I. Через какой период после оформления на работу обязаны обеспечить проведение курсового обучения работающего по охране труда?
1) не позднее чем через 1 месяц
✓2) то же, 3 месяца
3) то же, 2 месяца
4) то же, 6 месяцев
5) то же, 4 месяца

II. Сколько можно наложить взысканий за одно нарушение Правил техники безопасности?
✓1) одно
2) не более двух
3) одно взыскание и штраф
4) одно дисциплинарное и одно административное взыскание
5) дисциплинарное взыскание и общественное порицание

III. Какой производственный шум наиболее опасен для организма человека?
1) низкочастотный
2) среднечастотный
✓3) высокочастотный
4) низкой и средней частоты
5) низкой и высокой частоты

IV. Какого сечения должны быть заземляющие проводники (при голых медных проводниках и открытой прокладке)?
✓1) 4 мм² 2) 6 мм² 3) 2,5 мм² 4) 1,5 мм² 5) 100 мм²

V. Как подразделяются здания и сооружения по степени огнестойкости?
1) I и II степени огнестойкости
2) то же, I—IV
3) то же, I—III
✓4) то же, I—V
5) то же, I—VI

Билет № 2

I. Какое общее количество сверхурочных работ допускается для рабочих в год?
1) не более 200 ч
✓2) не более 120 ч
3) не более 72 ч
4) не более 90 ч
5) не более 60 ч

II. С помощью каких приборов можно измерить освещенность?
✓ 1) люксметром 2) милливольтметром 3) анемометром
4) ареометром 5) микроамперметром

III. Как подразделяются помещения в отношении опасности поражения электрическим током?
1) помещения нормальной и повышенной опасности
2) помещения без повышенной опасности и особой опасности
✓ 3) помещения с повышенной опасностью, особо опасные и без повышенной опасности
4) помещения повышенной и особой опасности
5) помещения нормальные и особой опасности

IV. В каких случаях необходимо защитное заземление в помещениях без повышенной опасности?
✓ 1) при напряжении 380 В и более переменного тока и 440 В и более постоянного тока
2) то же, соответственно 127 и 110 В
3) то же, соответственно 220 и 380 В
4) то же, соответственно 42 и 110 В
5) то же, соответственно 127 и 220 В

V. В какие сроки производится полное техническое освидетельствование грузоподъемных механизмов?
1) один раз в год 2) один раз в 5 лет
3) один раз в 2 года ✓ 4) один раз в 3 года
5) один раз в 6 месяцев

Билет № 3

I. Какая максимальная скорость движения грузового автомобиля, перевозящего людей?
1) 70 км/ч ✓ 2) 60 км/ч 3) 80 км/ч
4) 50 км/ч 5) 30 км/ч

II. Кто проводит вводный инструктаж?
1) инженер по охране труда
2) работник отдела кадров
3) начальник цеха
4) мастер (бригадир) участка
5) начальник отдела кадров

III. Какая величина внутреннего сопротивления тела человека?
1) 1000 Ом 2) 850 Ом ✓ 3) 300—500 Ом
4) 500—900 Ом 5) 100—200 Ом

IV. При какой высоте монтажные работы должны выполняться на лесах и подмостях?
✓ 1) более 1,5—2 м 2) более 1,0—1,5 м
3) более 2—2,5 м 4) более 3—3,5 м
5) более 2,5—3 м

V. В каких случаях необходимо защитное заземление во взрывоопасных помещениях?
1) при напряжении выше 42 В
2) то же, 36 В
3) то же, свыше 60 В
✓ 4) при всех значениях напряжения
5) при напряжении свыше 6 В

Билет № 4

I. В какой срок профсоюзный комитет предприятия должен выдать решение по заявлению пострадавшего (в случае его несогласия с содержанием акта о несчастном случае)?
1) в срок не более 10 дней
✓ 2) то же, 7 дней
3) то же, 5 дней
4) то же, 3 дней
5) то же, 12 дней

II. Какой продолжительности может быть перерыв для отдыха и питания?
✓ 1) не более 2 ч 3) не более 45 мин 5) не более 1,5 ч
2) не более 1 ч 4) не более 30 мин

III. В каких случаях необходимо защитное заземление в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках?
1) при напряжении 127 В и выше
2) при напряжении 110 В и выше
✓ 3) при напряжении свыше 42 В переменного тока и свыше 110 В постоянного тока
4) то же, соответственно 12 В и 48 В
5) то же, соответственно 220 и 400 В

IV. Какой предельный груз допускается переносить женщинам в возрасте 18 лет и более?
✓ 1) не более 20 кг 2) не более 16 кг
3) не более 24 кг 4) не более 18 кг
5) не более 15 кг

V. Какое допускается суммарное время контакта работающего с вибрирующим оборудованием?
1) 2 ч в смену
2) 3 ч в смену
3) 1/2 длительности рабочего дня
✓ 4) 2/3 длительности рабочего дня
5) 5,5 ч в смену

Билет № 5

I. Какова продолжительность ежегодного отпуска?
1) не менее 12 рабочих дней
✓ 2) не менее 15 рабочих дней
3) не менее 11 рабочих дней
4) не менее 16 рабочих дней
5) не менее 18 рабочих дней

II. Какой объем производственного помещения предусматривается санитарными нормами проектирования на одного работающего?
✓ 1) не менее 15 м³ 2) не менее 12 м³
3) не менее 10 м³ 4) не менее 9 м³
5) не менее 20 м³

III. Какого сечения должны быть заземляющие проводники (при изолированных медных проводах)?
1) не менее 2,5 мм² 2) не менее 4 мм²
✓ 3) не менее 1,5 мм² 4) не менее 10 мм²
5) не менее 6 мм²

IV. Каким прибором измеряется влажность воздуха?

1) психрометром 2) анемометром 3) барометром
4) ареометром 5) актинометром

V. Сколько нажатий на нижнюю часть груди (непрямой массаж сердца) и вдуваний воздуха в легкие (искусственное дыхание методами «рот в рот» или «рот в нос») необходимо сделать пострадавшему в одну минуту?

1) соответственно 30—35 и 7—8
2) то же, 40—45 и 8—10
3) то же, 35—40 и 6—8
4) то же, 48—50 и 10—12
5) то же, 25—30 и 14—15

Билет № 6

I. Где учитывается и кем расследуется несчастный случай, если работник находился в командировке?

1) по месту основной работы учитывается и расследуется
2) учитывается по месту основной работы на основании акта Н-1 расследования той организации, куда был направлен пострадавший
3) по решению специальной комиссии двух организаций
4) по решению администрации и профкома организации, расследовавшей данный несчастный случай
5) по решению технического инспектора профсоюза

II. Какая периодичность чистки стекол оконных проемов и световых фонарей зданий предприятий (организаций)?

1) не реже 1 раза в год
2) не реже одного раза в 2 года
3) не реже одного раза в 3 месяца
4) не реже двух раз в год
5) не реже одного раза в 1,5 года

III. На какой высоте над рабочими местами должны быть размещены на опорах наружные электропроводки (над уровнем земли, пола, настила, не менее)?

1) 1,5 м 2) 1,8 м 3) 2,5 м 4) 2,1 м 5) 2,2 м

IV. Какая величина сопротивления заземляющего устройства должна быть для электроустановок напряжением до 1000 В в сети с заземленной нейтралью?

1) не более 2,4 и 8 Ом соответственно при междуфазных напряжениях 660, 380 и 220 В трехфазного источника питания или 380, 220 и 127 В однофазного источника питания
2) то же, соответственно 4,6 и 10 Ом
3) то же, соответственно 3,5 и 8 Ом
4) то же, соответственно 2,6 и 12 Ом
5) то же, соответственно 1,2 и 4 Ом

V. Сроки измерения полного сопротивления петли фаза-нуль в электроустановках напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью:

1) 1 раз в год 2) 1 раз в 3 года
3) 1 раз в 2 года 4) 1 раз в 4 года
5) 1 раз в 5 лет

Билет № 7

I. В каком случае нетрудоспособность после несчастного случая не оплачивается предприятием?
1) если несчастный случай не связан с производством
✓ 2) если несчастный случай произошел при выполнении работы, не связанной с производственным заданием (без разрешения администрации)
3) если несчастный случай произошел вне территории предприятия
4) если несчастный случай произошел в нерабочее время
5) если несчастный случай произошел при работе в праздничный день

II. В каких трехфазных электрических сетях до 1000 В применяется защитное заземление?
1) в помещениях с повышенной опасностью
2) в особо опасных помещениях и для наружных установок
3) в системах (питающих генераторах, трансформаторах) с изолированной нейтралью
✓ 4) в помещениях, где работают люди
5) независимо от режима нейтрали источника питания (генератора, трансформатора)

III. Какое напряжение светильников местного освещения с лампами накаливания допускается применять для металлообрабатывающих станков?
1) не более 60 В 2) не более 36 В
✓ 3) не более 42 В 4) не более 127 В
5) не более 110 В

IV. По истечении какого срока непрерывной работы предоставляется ежегодный оплачиваемый отпуск (за первый год работы)?
✓ 1) 11 месяцев 2) 10,5 месяцев 3) 12 месяцев
4) 9,5 месяцев 5) 9 месяцев

V. В каких пределах частоты колебаний звук воспринимается человеком?
1) 9—10 000 Гц 2) 10—12 000 Гц 3) 12—15 000 Гц
4) 18—17 000 Гц ✓ 5) 16—20 000 Гц

Билет № 8

I. Какой период суток считается ночным рабочим временем?
1) с 20 до 8 ✓ 2) с 22 до 6 3) с 21 до 7
4) с 23 до 7 5) с 24 до 8

II. На какой высоте необходимо устанавливать плакаты по технике безопасности (на рабочих местах, возле машин, механизмов, устройств и др.)?
1) 1,1—1,5 м 2) 1,2—1,6 м 3) 1,7—2,0 м
✓ 4) 2—2,5 м 5) 1,35—1,7 м

III. Как квалифицировать несчастный случай, связанный с ударом молнии?
1) случай бытовой
2) случай, связанный с работой
✓ 3) случай, связанный с производством
4) случай, не связанный с производством

5) случай не связан ни с производством, ни с работой (вообще не оформляется актом)

IV. С каким уровнем звука должны обозначаться знаками безопасности зоны, где работающие должны быть снабжены средствами индивидуальной защиты от шума?

✓1) 85 дБА 2) 75 дБА 3) 80 дБА 4) 82 дБА
5) 70 дБА

V. Какие должны быть предельные габариты (по ширине и высоте) транспортных средств при движении по дорогам общей сети СССР?

1) 3 и 4,5 м 2) 2,9 и 4,1 м 3) 2,7 и 3,9 м
4) 2,6 и 4,0 м ✓5) 2,5 и 3,8 м

Билет № 9

I. Сроки измерения сопротивления заземляющих устройств цеховых электроустановок?

1) не реже 1 раза в 3 года
✓2) не реже 1 раза в год
3) не реже 1 раза в 2 года
4) не реже 1 раза в 5 лет
5) не реже 1 раза в 4 года

II. В какие сроки производится чистка ламп и осветительной арматуры в производственных помещениях?

1) не реже 1 раза в год
2) не реже двух раз в год
3) не реже 3 раз в полугодие
✓4) не реже 4 раз в год
5) не реже 1 раза в два года

III. На какой высоте (над проходами) должны быть выполнены изолированным проводом наружные электропроводки (над уровнем земли, пола, настила)?

1) 2,5 м 2) 1,8 м ✓3) 3,5 м 4) 3,0 м 5) 3,2 м

IV. Какая оптимальная скорость движения воздуха в рабочих помещениях в холодный период года?

✓1) 0,2—0,3 м/с 2) 0,1—0,15 м/с 3) 0,3—0,35 м/с
4) 0,25—0,50 м/с 5) 0,4—0,5 м/с

V. При какой потере в массе бракуются газовые баллоны?

1) более 5 % 2) более 3 % 3) более 10 %
4) более 15 % ✓5) более 20 %

Билет № 10

I. Как квалифицировать несчастный случай, происшедший на личном транспорте при выполнении работы по заданию администрации?

1) не связанный с производством
✓2) связанный с производством
3) связанный с работой
4) не связанный с работой и производством
5) бытовой несчастный случай

II. На какой высоте (над проездами) должны быть выполнены изолированным проводом наружные электропроводки (на опорах)?

1) 3 м 2) 3,75 м 3) 4,2 м ✓4) 6 м 5) 5 м

III. Какая оптимальная скорость движения воздуха в рабочих помещениях в теплый период года?

1) 0,1—0,2 м/с 2) 0,15—0,3 м/с ✓3) 0,2—0,5 м/с
4) 0,3—0,4 м/с 5) 0,5—1 м/с

IV. В какие сроки комиссия по трудовым спорам должна рассмотреть заявление трудящегося?

✓1) в недельный 2) в трехдневный 3) в пятидневный
4) в двухдневный 5) в двухнедельный срок

V. Как оплачивается сверхурочная работа?

1) предоставляется отгул
2) в двойном размере
3) в полуторном размере
4) в тройном размере
✓5) в полуторном размере первые 2 часа и последующие — в двойном размере

Билет № 11

I. Для чего применяется заземление нетоковедущих металлических частей электроустановок (защитное заземление)?

1) для уменьшения тока замыкания на землю
2) для увеличения тока замыкания на землю
✓3) для уменьшения потенциала корпуса относительно земли
4) для увеличения потенциала корпуса относительно земли
5) *для изменения величины тока замыкания на землю*

II. На какое расстояние запрещается приближаться к месту замыкания токоведущей части на землю (на открытой местности)?

1) менее 5 м ✓2) менее 8 м 3) менее 12 м
4) менее 15 м 5) менее 10 м

III. Какой температурой характеризуется теплый период года?

✓1) +10 °С и выше 2) +12 °С и выше 3) +15 °С и выше
4) +18 °С и выше 5) +16 °С и выше

IV. Какое напряжение (50 Гц) допускается для питания ручного электрифицированного инструмента при условиях повышенной *опасности окружающей среды*?

1) не более 127 В 2) не более 220 В 3) не более 500 В
4) не более 36 В ✓5) не более 42 В

V. Среднее время действия ручного огнетушителя:

1) 3 мин 2) 2 мин 3) 5 мин ✓4) 1 мин 5) 2,5 мин

Билет № 12

I. Для чего применяется занулен ие нетоковедущих металлических частей оборудования, эл ектроустановок?

1) в качестве дополнения к защитному заземлению
2) для снижения величины тока замыкания на землю
✓3) с целью обеспечения автоматического отключения аварийного участка электрической сети
4) с целью снижения напряжения шага
5) с целью обеспечения срабатывания сигнализации об опасности поражения электрическим током

II. При каком расстоянии (по горизонтали) между крайней точкой (при наибольшем вылете стрелы) и ближайшим про-

водом линии электропередачи напряжением до 1000 В обеспечивается безопасная работа крана (или другого механизма)?

1) не менее 3 м ✓2) не менее 1,5 м 3) не менее 0,5 м
4) не менее 2,0 м 5) не менее 1,9 м

III. В каких местах измеряется уровень шума в производственных помещениях?

✓1) микрофон устанавливается на рабочих местах на высоте 1,5 м от пола
2) то же, 1 м
3) то же , 1,2 м
4) то же, 0,5 м
5) то же, на уровне пола

IV. В какие сроки должна измеряться освещенность на каждом рабочем месте?

1) один раз в месяц 2) один раз в 6 месяцев
3) один раз в два года 4) один раз в 3 месяца
✓5) один раз в год

V. На какой высоте от пола внутри зданий должны устанавливаться пожарные краны?

1) 0,5 м 2) 0,75 м 3) 1,0 м ✓4) 1,35 м 5) 1,5 м

Билет № 13

I. В какой срок комиссия должна расследовать несчастный случай с летальным исходом?

1) 7 суток 2) 3 суток ✓3) 10 суток 4) 2 суток 5) 1 сутки

II. Какое время наименьшей вероятности поражения человека электрическим током?

1) менее 0,8 с ✓2) менее 0,2 с 3) менее 1,2 с
4) менее 2 с 5) менее 0,75 с

III Какой температурой характеризуется переходный и холодный период года?

✓1) ниже +10 °С 2) ниже 0°С 3) ниже +7 °С
4) ниже +5 °С 5) ниже +3 °С

IV. Какой величиной относительной влажности характеризуются особо опасные помещения по возможности поражения электрическим током?

1) 55 % 2) 65 % 3) 75 % 4) 80 % ✓5) около 100 %

V. Какая величина электрического сопротивления внутренних тканей человека?

1) 2000 Ом 2) 1500 Ом 3) 800 Ом ✓4) 300—700 Ом
5) 1800 Ом

Билет № 14

I. Какими параметрами характеризуются метеорологические условия (микроклимат) производственного помещения?

1) температурой, скоростью движения воздуха
2) барометрическим давлением
✓3) температурой, относительной влажностью, скоростью движения воздуха
4) относительной влажностью воздуха
5) влажностью и давлением воздуха

II. Нормируемое правилами сопротивление защитного заземления в электроустановках напряжением до 1000 В (при мощности источника питания свыше 100 кВ · А)

1) не более 5 Ом ✓2) не более 4 Ом
3) не более 10 Ом 4) не более 6 Ом
5) не более 2 Ом

III. В какой срок комиссия должна расследовать групповой несчастный случай?

✓1) 10 суток 2) 5 суток 3) 3 суток 4) 1 сутки
5) 2 суток

IV. При каком напряжении происходит максимальное число (75...85 %) поражений электрическим током?

1) свыше 1000 В 2) 10 кВ и более
3) 35 кВ и более 4) 1, 3, 6, 10, 20 и 35 кВ
✓5) до 1000 В (127—380 В)

V. При какой скорости ветра работа любой машины (крана и др.) должна быть прекращена?

1) более 20 м/с 2) более 9 м/с 3) более 12 м/с
✓4) более 15 м/с 5) более 7 м/с

Билет № 15

I. В какой срок комиссия должна расследовать тяжелый (инвалидный) несчастный случай?

1) 3 сут 2) 1 сут ✓3) 10 сут 4) 5 сут 5) 7 сут

II. На какое расстояние запрещается приближаться к месту замыкания токоведущей части на землю (в закрытом помещении)?

1) менее 6 м ✓2) менее 4 м 3) менее 5 м
4) менее 10 м 5) менее 7м

III. Какие противопожарные мероприятия должны применяться на предприятиях (в организациях) согласно правилам и нормам?

✓1) технические, организационные, эксплуатационные, режимные
2) запрещающие применение открытого огня
3) пропагандирующие выполнение Правил по пожарной безопасности
4) призывающие к курению в специальных местах
5) запрещающие применение легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), а также газообразных и твердых веществ

IV. Какие несчастные случаи подлежат расследованию и учету на производстве?

1) при потере трудоспособности на три рабочих дня и более
2) то же, 2 и более дней
3) то же, 4 и более дней
4) то же, с тяжелым или летальным исходом
✓5) то же, на один день и более

V. При какой величине электрического тока происходят ожоги тела человека?

1) 0,5 А 2) 0,1 А 3) 0,25 А ✓4) более 1 А 5) более 0,3 А

Билет № 16

I. Какими параметрами характеризуется физическая работа средней тяжести (категория 11б) по энергозатратам?

1) до 100 Вт 2) до 150 Вт 3) до 200 Вт
✓4) до 293 Вт 5) до 500 Вт

II. Где устанавливается микрофон при определении шумовой характеристики машины в производственном помещении?

1) со всех сторон на расстоянии 2 м от наружного контура машины
✓2) то же, 1 м 3) то же, 1,5 м 4) то же, 3 м
5) то же, 1,2 м

III. При каком расстоянии (по горизонтали) между крайней точкой крана (или другой машины) и ближайшим проводом линии электропередачи напряжением 1—20 кВ обеспечивается безопасная работа?

1) 1 м 2) 1,5 м 3) 0,5 м 4) 1,2 м ✓5) 2 м

IV. Сколько вдуваний воздуха в минуту (способом «рот в рот» или «рот в нос») необходимо сделать пострадавшему (взрослому или ребенку) при выполнении искусственного дыхания?

1) соответственно 5—6 и 8—9
2) то же, 4—6 и 7—8
✓3) то же, 10—12 и 15—18
4) то же, 7—9 и 11—13
5) то же, 9—10 и 10—12

V. Какая допускается (в течение рабочего дня) предельная плотность потока энергии электромагнитного поля (ЭМП) в диапазоне радиочастот (300 МГц — 300 ГГц)?

✓1) 0,1 Вт/м² 2) 0,3 Вт/м² 3) 1 Вт/м²
4) 0,5 Вт/м² 5) 1,5 Вт/м²

Билет № 17

I. Какими параметрами характеризуется физическая работа средней тяжести (категория 11а) по энергозатратам?

1) до 150 Вт 2) до 180 Вт 3) до 100 Вт
✓4) до 232 Вт 5) до 300 Вт

II. Наиболее опасный путь прохождения тока через тело человека, оказавшегося подключенным в электрическую цепь?

1) правая рука — ноги ✓2) голова — руки
3) левая рука — ноги 4) нога — нога
5) рука — рука

III. Какой ток при частоте 50 Гц начинает оказывать раздражающее действие на человека?

1) 10—15 мА 2) 5—10 мА 3) 2—3 мА 4) 7—8 мА
✓5) 3—5 мА

IV. Норма общей освещенности рабочих поверхностей для аудиторий, лабораторий, кабинетов, читальных залов (на столах и доске)

1) 150 лк 2) 250 лк ✓3) 300 лк 4) 500 лк
5) 400 лк

V. На каком расстоянии от заземлителя любой формы (места замыкания на землю) потенциал земли можно считать практически равным нулю?

✓1) более 20 м 2) более 30 м 3) более 10 м
4) более 15 м 5) более 12 м

Билет № 18

I. В каком радиочастотном диапазоне проявляется вредное влияние электромагнитных излучений (установок ВЧ, СВЧ и УВЧ)?

1) $10^2 — 10^5$ Гц
2) $10^4 — 10^7$ Гц
3) $10^3 — 10^6$ Гц
✓4) $3 \cdot 10^4 — 3 \cdot 10^{11}$ Гц 5) $3 \cdot 10^9 — 3 \cdot 10^{12}$ Гц

II. В каких пределах может колебаться электрическое сопротивление тела человека?

1) 1000—5000 Ом ✓2) 3000—100 000 Ом 3) 2000—10 000 Ом
4) 1500—4000 Ом 5) 2500—7500 Ом

III. Какой величины ток промышленной частоты (50 Гц) начинает ощущать человек?

1) 0,1—0,5 мА 2) 0,25—0,6 мА 3) 0,3—0,4 мА
4) 1,6—1,8 мА ✓5) 0,6—1,5 мА

IV. Норма освещенности рабочих поверхностей для помещений конструкторских бюро, кабинетов технического черчения (на рабочих столах)?

1) 250 лк 2) 150 лк ✓3) 500 лк 4) 350 лк 5) 300 лк

V. Длина пожарных рукавов (с пожарными стволами), которыми оборудуются пожарные краны в помещениях

✓1) 10—20 м 2) 5—10 м 3) 7—14 м 4) 15—30 м
5) 6—12 м

Билет № 19

I. Предельный угол наклона лестниц с посещением помещения в производственном здании 1—2 раза в смену

1) не более 50° 2) не более 40° 3) не более 75°
✓4) не более 60° 5) не более 45°

II. Глубина траншеи для вертикальных и горизонтальных заземлителей

1) 0,3—0,4 м ✓2) 0,7—0,8 м 3) 0,25—0,5 м
4) 0,4—0,6 м 5) 0,2—0,3 м

III. Какие помещения считаются сырыми?

1) если относительная влажность более 50 %
2) то же, более 45 %
3) то же, более 60 %
4) то же, более 90 %
✓5) то же, более 75 %

IV. В каких единицах измеряется освещенность?

1) в люменах (лм) 2) в канделах (кд)
✓3) в люксах (лк) 4) в канделах на м² (кд/м²)
5) в люксах на м² (лк/м²)

V. При какой частоте исчезает опасность поражения электрическим током и остается только опасность ожогов (теплового действия)?

1) 450—500 кГц 2) 1000—2000 Гц 3) 5—10 кГц
4) 15—25 кГц 5) 150—200 кГц

Билет № 20

I. Каким из перечисленных приборов можно измерить интенсивность теплового излучения?

1) кататермометром 2) термометром 3) анемометром
4) актинометром 5) гигрометром

II. Среднее значение порогового неотпускающего постоянного тока?

1) 20—30 мА 2) 50—80 мА 3) 30—40 мА 4) 15—25 мА
5) 40—50 мА

III. Какими параметрами характеризуются легкие (категория I) физические работы по энергозатратам?

1) до 100 Вт 2) до 60 Вт 3) до 120 Вт
4) до 75 Вт 5) до 172 Вт

IV. Какая продолжительность рабочей недели при работах с вредными условиями?

1) 38 ч 2) 35 ч 3) 36 ч 4) 32 ч 5) 30 ч

V. Какая должна быть минимальная производительность наружного водопровода противопожарного водоснабжения?

1) 5 л/с 2) 2,5 л/с 3) 4 л/с 4) 3 л/с 5) 6 л/с

Билет № 21

I. Какова периодичность повторных инструктажей на рабочем месте?

1) 1 раз в год 2) 1 раз в 4 месяца
3) 1 раз в три месяца 4) 1 раз в месяц
5) 1 раз в 6 месяцев

II. Какой продолжительности предоставляется женщинам дородовой отпуск?

1) 42 календарных дня 2) 48 календарных дней
3) 36 календарных дней 4) 24 календарных дня
5) 56 календарных дней

III. На каком расстоянии от источников тепла с открытым огнем могут устанавливаться баллоны с газом?

1) не менее 2 м 2) не менее 1,5 м 3) не менее 4 м
4) не менее 5 м 5) не менее 7,5 м

IV. Каково расчетное сопротивление тела человека?

1) 600 Ом 2) 800 Ом 3) 1000 Ом 4) 1200 Ом
5) 1500 Ом

V. В каких единицах измеряется освещенность?

1) в люксах (лк) 2) в люменах (лм)
3) в люксах на м^2 (лк/м^2) 4) в люменах на м^2 (лм/м^2)
5) в канделах

Билет № 22

I. Как можно компенсировать работу в праздничные и выходные дни?

1) оплатой в 1,5-кратном размере
2) оплатой в 2-кратном размере
✓3) предоставлением отпуска в ближайшие две недели
4) то же, в 3 недели
5) то же, в 4 недели

II. Какова оптимальная относительная влажность в помещении?

1) 25—30 % 2) 15—25 % 3) 60—70 %
4) 50—75 % ✓5) 40—60 %

III. В каких единицах измеряется уровень шума?

1) в герцах 2) в ньютонах (Н) 3) в Н/м²
✓4) в децибелах (дБ) 5) в килогерцах (кГц)

IV. Какова периодичность контрольных испытаний резиновых диэлектрических перчаток?

1) 1 раз в три месяца 2) 1 раз в месяц
✓3) 1 раз в 6 месяцев 4) 1 раз в 1,5 месяца
5) 1 раз в 2 месяца

V. Какова предельная норма переноса тяжести на руках для мужчин (по ровной поверхности)?

✓1) не более 50 кг 2) не более 30 кг 3) не более 60 кг
4) не более 40 кг 5) не более 42 кг

Билет № 23

I. Какая квалификационная группа по электробезопасности необходима для самостоятельного обслуживания электроустановок напряжением до 1000 В?

1) II 2) I ✓3) III 4) V 5) IV

II. В какой срок должен быть расследован несчастный случай на производстве?

1) 48 ч 2) 36 ч 3) 12 ч 4) 20 ч ✓5) 24 ч

III. Размер оплаты пострадавшему при несчастном случае, связанном с работой

1) 50 % от среднего заработка независимо от стажа работы
2) то же, 50—90 % в зависимости от стажа работы
3) то же, 60—70 %
✓4) 100 % независимо от стажа работы
5) 80 % независимо от стажа работы

IV. При какой температуре человек обладает наибольшей работоспособностью (в комфортной зоне)?

1) +15...+18 °С 2) +16...+17 °С ✓3) +18...+22 °С
4) +24...+26 °С

V. При каком атмосферном давлении человек обладает наибольшей работоспособностью (в комфортной зоне)?

✓1) 760 мм рт. ст. 2) 750 мм рт. ст. 3) 755 мм рт. ст.
4) 740 мм рт. ст. 5) 765 мм рт. ст.

Билет № 24

I. Какая квалификационная группа по электробезопасности требуется для самостоятельного обслуживания электроустановок с напряжением свыше 1000 В?

1) III 2) II 3) IV 4) I 5) V

II. Допустимая величина сопротивления изоляции участка электрической сети напряжением до 1000 В (Ом/фазу)

1) 10000 2) 3000 3) 100000 4) 300000 5) 500000

III. Размер оплаты пострадавшему при несчастном случае, связанном с производством

1) 50—90 % от среднего заработка в зависимости от стажа работы
2) то же, 30—60 %
3) то же, 60—70 %
4) 100 % независимо от стажа работы
5) 80 % независимо от стажа работы

IV. Какой несчастный случай квалифицируется как связанный с работой?

1) при выполнении определенной работы по заданию руководителя
2) то же, при нахождении в командировке
3) в пути на работу или с работы, при выполнении государственных или общественных обязанностей, специальных заданий органов (милиции и др.) и долга гражданина СССР
4) при спортивных играх на территории предприятия
5) при изготовлении деталей для личных целей

V. При какой относительной влажности человек обладает наибольшей работоспособностью (в комфортной зоне)?

1) 40—60 % 2) 30—40 % 3) 25—35 %
4) 60—70 % 5) 70—80 %

Билет № 25

I. Какой ток безопасней — переменный или постоянный?

1) переменный ток
2) одинаковая степень безопасности
3) постоянный ток в 4—5 раз безопаснее переменного с частотой 50 Гц
4) постоянный ток в 1,5 раза безопаснее переменного
5) переменный ток в 2 раза безопаснее постоянного

II. Сроки проверки состояния изоляции проводов рабочего и аварийного освещения

1) один раз в месяц 2) один раз в 3 месяца
3) один раз в 2 года 4) один раз в 6 месяцев
5) один раз в год

III. Какой несчастный случай относится к бытовому?

1) несчастный случай, происшедший не на территории предприятия
2) то же, в обеденный перерыв вне территории предприятия
3) то же, на территории предприятия, но в выходной или праздничный день
4) то же, в пути на работу или с работы (не на транспорте предприятия), в быту
5) то же, в сверхурочное время

IV. Порядок оплаты бытового несчастного случая, оформленного комиссией предприятия (в трехдневный срок) актом по форме БТ
1) оплачивается со второго дня с момента установления факта несчастного случая
2) то же, с первого дня
✓3) то же, с шестого дня
4) то же, с третьего дня
5) то же, с пятого дня

V. Какое напряжение допускается для питания ручного инструмента?
✓1) не более 42 В 2) не более 127 В 3) не более 220 В
4) не более 380 В 5) не более 110 В

Билет № 26

I. При каких затратах энергии человек обладает наибольшей работоспособностью (в комфортной зоне)?
✓1) до 172 Вт 2) до 100 Вт 3) до 189 Вт
4) до 200 Вт 5) до 250 Вт

II В какие сроки проверяются (госпроверкой) манометры для измерения давления в системах (котлах, компрессорах, баллонах и др.)?
1) не реже одного раза в 6 месяцев
✓2) то же, в 12 месяцев
3) то же, в 1,5 года
4) то же, в 3 месяца
5) то же, ежемесячно

III. В каких электрических сетях применяется защитное заземление?
1) во всех однофазных сетях
2) в трехфазных сетях с заземленной нейтралью
3) в четырехпроводных сетях
4) в трехфазных сетях с любым режимом нейтрали напряжением до 1000 В
✓5) в трехфазных сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В с любым режимом нейтрали

IV. Какая предельная норма (на одного человека) при ручной переноске грузов по ровной горизонтальной поверхности для девушек до 18 лет?
1) не более 15 кг 2) не более 20 кг ✓3) не более 10 кг
4) не более 12 кг 5) не более 14 кг

V. В какие сроки проходят медосмотр лица, постоянно работающие с ядохимикатами?
1) не реже одного раза в год
2) то же, одного раза в 9 месяцев
3) то же, одного раза в квартал
✓4) то же, одного раза в 6 месяцев
5) то же, одного раза в 2 месяца

Билет № 27

I. Какая допускается предельная относительная влажность воздуха в рабочей зоне согласно санитарным нормам?
✓1) до 75 % 2) до 65 % 3) до 80 % 4) до 90 %
5) до 85 %

II. Каким давлением испытывают газовые баллоны?
1) давлением, превышающим рабочее в 2 раза
✓2) то же, в 1,5 раза 3) то же, в 1,8 раза
5) то же, в 2,5 раза 5) то же, в 3 раза

III. Цель защитного заземления
1) обеспечить срабатывание защитной аппаратуры
2) уменьшить величину тока замыкания на землю
3) ускорить автоматическое отключение поврежденного участка электрической сети
4) обеспечить отключение электроустановки с нарушенной изоляцией
✓5) снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения

IV. Какой величины должно быть сопротивление защитного заземления для электроустановок напряжением до 1000 В?
1) не более 8 Ом 2) не более 5 Ом ✓3) не более 4 Ом
4) не более 10 Ом 5) не более 20 Ом

V. Какая предельная норма (на одного человека) при ручной переноске грузов по ровной горизонтальной поверхности для юношей до 18 лет?
1) не более 20 кг 2) не более 25 кг 3) не более 18 кг
✓4) не более 16 кг 5) не более 22 кг

Билет № 28

I. Какая допускается предельная температура воздуха в рабочей зоне соответственно в холодный и теплый периоды года?
✓1) + 13 и +26 °С 2) +9 и +24 °С
3) +11 и +23 °С 4) +12 и +25 °С
5) +14 и +29 °С

II. Периодичность осмотра и испытаний вентиляционных установок
1) не реже одного раза в 5 лет
✓2) не реже одного раза в год
3) не реже одного раза в 3 года
4) не реже одного раза в 4 года
5) не реже одного раза в полугодие

III. Каким давлением подвергаются гидравлическому испытанию трубопроводы (в собранном виде) для пара и горячей воды?
1) давлением, превышающим рабочее на 10 %
2) то же, на 5 % 3) то же, на 12 %
4) то же, на 20 % ✓5) то же, на 25 %

IV. Как проявляются поражающие свойства электрического тока?
1) обугливанием частей тела
2) ослеплением электрической дугой
✓3) в виде электрических ударов и электротравм
4) в виде электрических разрядов
5) в виде болезненных ожогов

V. Как контролируют состояние заземляющих устройств?
1) проверяют исправность подземной части заземления не реже одного раза в год
2) то же, не реже одного раза в 6 месяцев
3) то же, не реже одного раза в месяц

✓ 4) то же, не реже одного раза в 3 месяца
5) то же, не реже одного раза в 2 года

Правильные ответы на поставленные вопросы в билетах программированного контроля

а) билеты № 1—5: I — 2; II — 1; III — 3; IV — 1; V — 4
б) билеты № 6—10: I — 2; II — 4; III — 3; IV — 1; V — 5
в) билеты № 11—15: I — 3; II — 2; III — 1; IV — 5; V — 4
г) билеты № 16—20: I — 4; II — 2; III — 5; IV — 3; V — 1
д) билеты № 21—25: I — 3; II — 5; III — 4; IV — 3; V — 1
е) билеты № 26—28: I — 1; II — 2; III — 5; IV — 3; V — 4.

Приложение 2

Программа расчета сопротивления защитного заземления электроустановок с использованием ЭВМ

Защитному заземлению подлежат металлические нетоковедущие части электрооборудования, которые вследствие неисправности изоляции могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей и животных.

Цель расчета защитного заземления заключается в определении основных параметров заземления (число, размеры и размещение одиночных заземлителей и заземляющих проводников), при которых напряжения прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземленный корпус не превышают допустимых значений.

При расчете защитного заземления приходится решать целый ряд задач, в том числе: определение типа и слойности грунта, сезонных изменений сопротивления растеканию грунта (промерзание, высыхание, повышенная влажность грунта), типа электрода-заземлителя (форма, размеры), из которого предполагается соорудить проектируемый групповой заземлитель с учетом устройства (размещения) заземлителей (расстояния между электродами, конфигурации и т. п.), возможности использования естественных заземлителей (заглубленных в грунт металлоконструкций, трубопроводов, кабелей) и др.

Чаще всего расчет производится для случаев размещения заземлителя в однородной земле, реже принимается двухслойная модель земли с удельными сопротивлениями нижнего и верхнего слоев ρ_1 и ρ_2.

Обычно заземлители рассчитываются по допустимому сопротивлению заземлителя способом коэффициента использования, когда земля считается однородной (однослойной).

Порядок расчета. 1. Уточняются исходные данные (характеристика электроустановки, рабочие напряжения, длины воздушных и кабельных сетей и др.).

2. Определяется расчетный ток замыкания на землю.

3. Определяется требуемое сопротивление растеканию заземляющего устройства.

4. Определяется требуемое сопротивление искусственного заземлителя.

5. Выбирается тип заземлителя и составляется предварительная схема (проект) заземляющего устройства, то есть размещаются на плане установки принятые для сооружения заземлителя электроды и заземляющие проводники.

6. Уточняются параметры заземлителя (размещение, число и др.).

Для расчета защитного заземления с использованием ЭВМ разработана программа на языке БЕЙСИК.

Программа составлена для ЭВМ типа СМ.

Пример расчета защитного заземления с использованием ЭВМ.

Исходные данные. Заземлению подлежит оборудование подстанции 6000/400 В. Длина кабельных линий со стороны 6 кВ $l_к = 8$ км, воздушных линий — $l_в = 40$ км. Грунт — суглинок, измерения удельного сопротивления проводились при сухом грунте, $\rho_{изм} = 700$ Ом · м. Заземляющее устройство представляет собой прямоугольник размером 20 × 40 м. В качестве вертикальных стержней предполагается применить угловую сталь с шириной полки 40 × 40 мм и длиной $l = 2{,}5$ м; в качестве соединительной полосы — стальную шину сечением 40 × 4 мм ($d = 0{,}95$, $b = 0{,}95 \cdot 0{,}04 = 0{,}038$ м). Имеются естественные заземлители с сопротивлением растеканию $R_e = 5{,}7$ Ом. Глубина заложения контура заземления $H_0 = 0{,}5$ м ($H = l/2 + H_0 = 2{,}5/2 + 0{,}5 = 1{,}75$ м).

Р е ш е н и е. 1. Определяем расчетный ток замыкания на землю со стороны $U_л = 6$ кВ

$$I_з = \frac{U_л (35 l_к + l_в)}{350} = \frac{6 (35 \cdot 8 + 40)}{350} \approx 5{,}45 \text{ А}.$$

2. Так как к заземляющему устройству присоединяются корпуса оборудования с напряжением до и свыше 1000 В (400 и 6000 В), его сопротивление должно удовлетворять двум условиям:

$$10 \text{ Ом} \geqslant r_з \leqslant 125/I_з \text{ и } r_з < 4 \text{ Ом}.$$

По первому условию $r_з \leqslant 125/5{,}45 = 23$ Ом, то есть принимаем $r_з = 4$ Ом как наименьшую величину.

3. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта

$$\rho_{расч} = \psi_з \rho_{изм},$$

где $\Psi_з = 1{,}4$ — климатический коэффициент при сухом грунте (принимается из таблицы), то есть

$$\rho_{расч} = 1{,}4 \cdot 700 = 980 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

4. Определяем сопротивление искусственного заземлителя с учетом выполнения условия $r_з \leqslant 4$ Ом:

$$R_и = \frac{R_e r_з}{R_e - r_з} = \frac{5{,}7 \cdot 4}{5{,}7 - 4} = 13{,}4 \text{ Ом}.$$

5. Определяем сопротивление одиночного вертикального заземлителя по типовой (табличной) формуле

$$R_{ст.\,од} = \frac{\rho_{расч}}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4H + l}{4H - l}\right) =$$

$$= \frac{980}{2\pi \cdot 2{,}5}\left(\ln\frac{2 \cdot 2{,}5}{0{,}038} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot 1{,}75 + 2{,}5}{4 \cdot 1{,}75 - 2{,}5}\right) = 328 \text{ Ом}.$$

6. Определяем сопротивление соединительной полосы по типовой (табличной) формуле

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{расч}}}{2\pi l_{\text{п}}} \ln \frac{2l_{\text{п}}^2}{bH_0},$$

где $l_{\text{п}} = 2 \cdot 20 + 2 \cdot 40 = 120$ м — длина соединительной полосы (шины), равная периметру прямоугольника контура заземления:

$$R_{\text{п}} = \frac{980}{2\pi \cdot 120} \ln \frac{2 \cdot 120^2}{0{,}04 \cdot 0{,}5} = 18{,}4 \text{ Ом}.$$

7. Предварительно разместив заземлители на плане контура заземления, определяем число вертикальных заземлителей и расстояния между ними и по этим данным принимаем из таблицы коэффициенты использования вертикальных стержней и соединительной полосы. В данном случае вертикальные стержни размещаем через каждые 2 м, то есть

$n = 120/2 = 60$ шт.; $a = 2$м; $a/l = 2/2{,}5$; $\eta_{\text{ст}} = 0{,}36$; $\eta_{\text{п}} = 0{,}2$.

8. Определяем сопротивления одиночного вертикального заземлителя и соединительной полосы с учетом выбранных коэффициентов использования стержней и полосы:

$$R_{\text{ст. од}} = 328/0{,}36 = 910 \text{ Ом и } R_{\text{п}} = 18{,}4/0{,}2 = 92 \text{ Ом}.$$

9. Определяем требуемое сопротивление растеканию вертикальных стержней:

$$R_{\text{ст}} = \frac{R_{\text{п}} R_{\text{и}}}{R_{\text{п}} - R_{\text{и}}} = \frac{92 \cdot 13{,}4}{92 - 13{,}4} = 15{,}6 \text{ Ом}.$$

10. Уточняем число вертикальных стержней (электродов):

$$n = \frac{R_{\text{ст. од}}}{R_{\text{ст}}} = \frac{910}{15{,}6} \approx 59,$$

то есть принимаем окончательно количество вертикальных электродов $n = 60$ шт.

```
1REM ПРОГРАММА
3 REM РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА
10 DIM B□ (10), P1 (10), P (3, 10), T4 (6, 3)
20 DIM T□ (7), U□ (3)
40 DATA 'ПЕСОК',7,2.4, 1.56, 1.2
50 DATA 'СУПЕСОК' ,3,1.5, 1.3, 1.2
60 ДАТА 'СУГЛИНОК' 1. 2, 1. 5, 1.4
70 DATA 'ГЛИНА', .4, 2.4, 1.36,1.2
75 DATA 'ЧЕРНОЗЕМ' ,2,2,1.32,1.2
80 N = 5
90 FOR I = 1 T0 N \ READ B□ (I), P1 (I),
95 P (1, I), P (2, I), P (3, 1)
100 NEXT I
110 DATA 'БОЛЬШАЯ ВЛАЖНОСТЬ'
120 DATA 'СРЕДНЯЯ ВЛАЖНОСТЬ'
130 DATA 'СУХОЙ ГРУНТ'
140 READ U□ (1), U□ (2), U□(3)
```

```
150 PRINT 'ДЛИНА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ — L1'
160 INPUT L1
170 PRINT 'ДЛИНА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ — L2'
180 INPUT L2
190 FOR I = 1 TO N\PRINT I;' 'B¤ (I) \ NEXT I
200 PRINT' НОМЕР ГРУНТА'
210 INPUT K
220 FOR I = 1 TO 3/PRINT I; U¤(I) / NEXT I
230 PRINT 'НОМЕР ВЛАЖНОСТИ';
240 INPUT M
250 PRINT 'НАПРЯЖЕНИЕ';
260 INPUT U
270 I1 = U * (35 * L1 + L2)/350
280 R1 = 4
290 R2 = 125/I1
300 IF R2 < R1 THEN R1 = R2
305 PRINT 'СОПР. ИЗМЕРЕННОЕ';
306 INPUT H7
310 R3 = H7 * P1 (K) * P (M,K)
320 PRINT P3, P1 (K), P (M, K)
325 PRINT 'СОПР. ЕСТЕСТ. ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ—';
330 INPUT R4
340 R5=R4*R1\(R4—R1)
350 PRINT 'РАЗМЕРЫ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА'
360 PRINT 'ШИРИНА * ДЛИНА ПРЯМОУГОЛЬНИКА'
370 INPUT L3, L4
380 PRINT 'РАЗМЕРЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ'
290 PRINT 'СЕЧЕНИЕ * ДЛИНА'
400 INPUT L5, L6
410 PRINT 'РАЗМЕРЫ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ПОЛОСЫ'
420 PRINT 'ШИРИНА *ТОЛЩИНА *ГЛУБИНА В ГРУНТЕ';
430 INPUT L7, L8, L9
440 L5 = L5 *.95
450 P4 = 2 *(L3 + L4)
460 R6 = R3 * LOG (2 * P4 * P4/(L7 * L9))
461 R6 = 5 * R5
470R6=R6\P4\6. 2832
480 R7 = R3 * LOG (2 * L6/L5)
490 S = L9 + .5 * L6
491 R3 = .5 * R3
500 R7 = R3 * L0G ((4 * 8 + L6) / (4 * 8 — L6)) + R7
510 R7 = R7/6.2932 / L6
520 R8 = R6 * R5/(R6 — R5)
530 REM ТАБЛ. 4—4
540 DATA 4,.66,.72, 6,.58, 065, 10,. 52,.58
550 DATA 20,.44,.5, 40,.39,.44,60.,36,.42
560 J = 6
570 FOR I = 1 TO J\READ T4 (I, 1), T4 (I,2), T4 (I, 3)/NEXT I
580 T1 = P4/L6
590 FOR I = 1 TO J\IF T1 < = T4 (I, 1) THEN G0 T0 620
600 NEXT I
620 T1 = R7/R8/T4/T4 (I, 3)
625 T1 = INT (T1) + 1
630 PRINT 'СОПРОТИВЛЕНИЕ ОДИНОЧНОГО ВЕРТИ-
                    КАЛЬНОГО'
```

```
640 PRINT 'ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ — ',R7
650 PRINT 'СОПРОТИВЛЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ЗА-
                                ЗЕМЛИТЕЛЯ — '; R5
660 PRINT 'ЧИСЛО ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ—'; T1
670 PRINT 'ТРЕБУЕМОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЕКАНИЮ'
680 PRINT 'ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ—'; R8
690 PRINT 'СОПРОТИВЛЕНИЕ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ПО-
                                ЛОСЫ—'; R6
700 PRINT 'КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ—'; T4 (I,3)
710 END
```

Приложение 3

Программа расчета сопротивления зануления электроустановок с использованием ЭВМ

Цель расчета зануления — определить условия, при которых оно надежно выполняет возложенные на него задачи — быстро отключает поврежденную установку от сети и в то же время обеспечивает безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период. В соответствии с этим зануление рассчитывается (проверяется) на отключающую способность, а также на безопасность прикосновения к корпусу как при замыкании фазы на землю (расчет заземления нейтрали источника), так и при замыкании ее на корпус (расчет повторного заземления нулевого защитного проводника).

Для расчета зануления с использованием ЭВМ разработана программа. Ниже приведен пример расчета со следующими исходными данными: кабельная линия 380/220 В с медными жилами 3×25 мм^2 длиной $l = 200$ м питается от трансформатора мощностью 400 кВ·А 6/0,4 кВ со схемой соединения обмоток $D/Y_н$; двигатель защищен предохранителями $I_{ном} = 125$ А; в качестве нулевого проводника используется стальная полоса сечением 40×4 мм; $r_0 = 4$ Ом (сопротивление заземления нуля трансформатора).

Р е ш е н и е. 1. Расчет на отключающую способность защиты предохранителями, то есть проверка выполнения условия срабатывания защиты:

$$I_к \geqslant kI_{ном}, \text{ где } k = 3;\ I_к = 3 \cdot 125 = 375 \text{ А}.$$

Действительное значение тока короткого замыкания $I_к$, проходящего по петле фаза-нуль,

$$I_к = \frac{U_ф}{Z_т/3 + \sqrt{(R_ф + R_н)^2 + (X_ф + X_н + X_п)^2}},$$

где $U_ф = 220$ В; $Z_т/3 = 0{,}065$ Ом (из таблицы);

$$R_ф = \rho l/S = 0{,}018 \cdot \frac{200}{25} = 0{,}144 \text{ Ом};$$

$$R_н = r_ω l = 1{,}54 \cdot 0{,}2 = 0{,}308 \text{ Ом};$$

$r_ω = 1{,}54$ Ом/км; $X_ф = 0$ (для медного проводника):

$$X_н = X_ω = 0{,}92 \cdot 0{,}2 = 0{,}184 \text{ Ом};$$

$$X_ω = 0{,}92 \text{ Ом/км}.$$

Величины удельного сопротивления r_ω и X_ω принимаются из таблицы в зависимости от плотности тока ($\delta = I_к/S = 2$ А/мм²) и сечения нулевого проводника (шины 40 × 4 мм);

$$X_п = lX_п = l \cdot 0{,}1256 \ln \frac{2D}{d}$$

($D = 0{,}7$ м — расстояние между проводами; d — диаметр провода, м), то есть для кабельных линий сопротивлением $X_п$ можно пренебречь ($X_п \simeq 0$);

$$I_{к.д} = \frac{220}{0{,}065 + \sqrt{(0{,}144 + 0{,}308)^2 + 0{,}184^2}} = 390 \text{ А}.$$

Так как $I_{к.д} = 390$ А $> I_{к.расч} = 375$ А, условие выполняется.

II. Расчет безопасной величины напряжения прикосновения. Определяем наибольшее допустимое значение сопротивления повторного заземления $r_п$ исходя из следующих данных $R_н = 0{,}308$ Ом; $X_н = 0{,}184$ Ом; $n = 2$ (количество повторных заземлителей); $U_{пр.доп.} = 42$ В, то есть

$$Z_н = \sqrt{R_н^2 + X_н^2} = \sqrt{0{,}308^2 + 0{,}184^2} = 0{,}394 \text{ Ом};$$

$$r_п \leqslant nr_0 \frac{U_{пр.доп}}{I_{к.д} Z_н - U_{пр.доп}} = 2 \cdot 4 \frac{42}{390 \cdot 0{,}394 - 42} = 3{,}01 \text{ Ом}.$$

Поскольку $r_п = 3{,}4$ Ом $< r_{п.норм} = 10$ Ом, условие выполняется.

```
1 REM ПРОГРАММА
3 REM РАСЧЕТА ЗАНУЛЕНИЯ
1Ø DIM S (1Ø, 3), R (7, 9)
2Ø DATA SØ, 5.24, 4.2, 3.4S, 2.97, 3.14, 2.52,2. Ø9, 1 7S
3Ø DATA 12Ø, 3 66,2.91, 2.3S, 2 Ø4, 2.2, 1.75, 1.43, 1.22
4Ø DATA 15Ø, 3.3S, 2.56, 2.ØS, 2. ØS. 2.Ø 3,1.54, 1.25, 1.25
5Ø DATA 16Ø, 2.S,2.24, 1.S1, 1.54, 1.5S, 1.34, 1.Ø9, .92
6Ø DATA 2ØØ, 2.2S, 1.79, 1.45, 1.24, 1.37, 1.Ø7,.S7, .74
7Ø DATA 25Ø, 2.1, 1.6.1.2S, 1.2S, 1.26, .96, .77, .77
8Ø DATA 3ØØ, 1.77, 1.34, 1.ØS, 1.S, 1.Ø6, .S, .65,.65
9Ø FOR I = 1 T0 7\FOR J = 1 T0 9
1ØØ READ R (I, J)\NEXT J\NEXT I
11Ø DATA 25, 1.Ø4, Ø, 4Ø, .65, Ø
12Ø DATA 63, .413, .37S, 1ØØ, .26, .254
13Ø DATA 16Ø, .164, .159, 25Ø, .1Ø4, .1Ø2
14Ø DATA 4ØØ, .Ø65.Ø64, 63Ø, .Ø43, . Ø4ØØ
15Ø DATA 1ØØØ, .Ø27, .Ø26, 16ØØ, .ØØ9, .Ø1
16Ø FOR I = A1 T0 1Ø/FOR J = 1 T0 3
17Ø READ S (I, J) \ NEXT J \NEXT I
18Ø PRINT 'СЕЧЕНИЕ ПОЛОСЫ А * S';
19Ø INPUT A, S
2ØØ PRINT 'ФАЗНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ U'
21Ø INPUT U
215 PRINT 'КОЭФ. КРАТНОСТИ ТОКА К';
22Ø INPUT K
```

```
230 PRINT 'ДЛИНА ПОЛОСЫ L';
240 INPUT L
250 PRINT 'НОМ. ТОК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ 19';
260 INPUT 19
270 PRINT 'СЕЧЕНИЕ ПРОВОДОВ S';
280 INPUT S
290 S1 = A * S
300 IS = 19 * K
310 D = IS/S1
320 PRINT 'МОЩНОСТЬ P1 И НАПРЯЖЕНИЕ U1'
330 PRINT 'ТРАНСФОРМАТОРА';
340 INPUT P1, U1
350 M1 = 2
360 IF D > .75 THEN M1 = 3
370 IF D > 1.25 THEN M1 = 4
380 IF D > 1.75 THEN M1 = 5
390 FOR I = 1 TO 7
395 MS = I
400 IF S1 ,< = R (I, 1) THEN 80 TO 420
401 NEXT I
410 REM ПОИСК ПОЛОСЫ С СЕЧЕНИЕМ S1
420 R5 = R (MS, M1)
430 X5 = R (MS, M1 + 4)
435 PRINT 'R5 = '; R5 'X5 = ' X5
440 N5 = 2
450 IF U1 > 15 THEN N5 = 3
460 FOR I = 1 TO 0

470 IF P1 < = S (I, 1) THEN 60 TO4S0
475 NEXT I
480 'Z5 = S (I, N5)
490 F2 = SQR (S/3. 1416)
500 PRINT 'РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ПРОВОДАМИ';
510 INPUT F1
520 X4 = .1256 * LOG (F1/F2)
525 PRINT 'X4 = '; X4
530 R0 = R5 + 1S/S
540 R0 = R 0 * R0
550 X0 = X5 + X4
560 X0 = X0 * X0
570 Z2 = Z5 + SQR (R0 + X0) * L
580 17 = U/Z2
585 PRINT 'ТОК К.З. ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ'; 17
586 ZF K * 19 < 17THEN 89 TO 595

590 PRINT 'УСЛОВИЕ НЕ ВЫПОЛНЯЕТСЯ'\0 TO 700
595 PRINT 'УСЛОВИЕ ВЫПОЛНЯЕТСЯ'
600 PRINT 'ЧИСЛО ПОВТОРНЫХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ';
610 INPUT N6
620 H = SQR (R5 * R5 + (X5+.5 * X4) 2)
630 PRINT H
640 H1 = N6 * 4 * 42 / (17 * L * H — 42)
650 PRINT H1
700 REM
710 END
```

Деловые игры по охране труда

I. Деловая игра «Расследование и анализ несчастных случаев» (ДИРАНС)

1. Задание на деловую игру

1.1. Цель деловой игры: дать студентам практические навыки по расследованию и анализу несчастных случаев на производстве.

1.2. Основные задачи: обучить студентов практическим навыкам, методике расследования и анализа несчастных случаев на производстве, а также разработке эффективных мероприятий по их предупреждению.

2. Модель деловой игры

2.1. Объект моделирования: предприятия радиотехнической, энергетической, машиностроительной, строительной промышленности.

2.2. Состав участников: преподаватель (руководитель) и студенты; разделение на бригады.

3. Сценарий деловой игры

Этапы	Наименование эпизодов, ситуаций, задач	Учебная цель	Информация для участников игры	Действия участников игры	Действия руководителя игры	Время, мин
Организационный	Общая постановка задачи	Ознакомление участников с содержанием игры	Информация преподавателя о цели игры, ее практическом значении	Комплектование состава бригад	Знакомство со студентами, разделение группы на бригады	10
I. Начало игры (введение в игру)	1) Распределение обязанностей между студентами в бригаде	Усвоение каждым студентом своих производственных функций	Доведение функциональных обязанностей до каждого члена бригады	Ознакомление участников игры со своими конкретными функциями	Выборочная проверка усвоения функций студентами в игре	5
II. Выдача исходной информации	2) Выдача задания и ситуации по данному несчастному случаю	Ознакомление с реальной ситуацией по конкретному несчастному случаю	Вводные данные, базирующиеся на материале реального несчастного случая	Четкое представление ситуации по несчастному случаю	Выдача преподавателем исходных данных по несчастному случаю	5
III. Ознакомление с методикой расследования несчастного случая	3) Изучение и усвоение методических приемов по расследованию и анализу травматизма	Освоение методики расследования несчастных случаев на производстве	Исходная информация «Положения о расследовании и учете несчастных случаев на производстве»	Изучение положения о расследовании и учете несчастных случаев	Краткая оперативная консультация по методике расследования	10

Продолжение

Этапы	Наименование эпизодов, ситуаций, задач	Учебная цель	Информация для участников игры	Действия участников игры	Действия руководителя игры	Время, мин
IV. Применение методики	4) Приобретение навыков и практического опыта расследования несчастного случая на производстве	Практическое применение методики и анализа травматизма	Расследование участниками игры обстоятельств несчастного случая	Установление причины и виновников несчастного случая	Краткая консультация для участников	10
	5) Приобретение навыков в оформлении акта по форме Н-1	Оформление технической документации	Усвоение каждым членом бригады алгоритма действий должностных лиц	Разработка мероприятий по предупреждению несчастных случаев	Оказание помощи преподавателем по разработке мероприятий	10
V. Окончание игры	6) Ориентирование в производственной ситуации и принятие решения	Анализ овладения методикой расследования несчастного случая	Проверка преподавателем правильности ответов, опросы отдельных студентов	Защита каждым членом бригады разработок по оформленному акту	Опрос преподавателем отдельных студентов	25
	7) Заключение преподавателя по проведенной игре	Оценка решения поставленной задачи	Подведение итогов преподавателем и объявление оценки в баллах	Анализ допущенных просчетов и ошибок при расследовании данного несчастного случая	Подведение окончательных итогов, объявление оценки и победителей, решивших поставленную задачу в оптимальном варианте	10

II. Деловая игра «Оказание первой помощи» (ДИОПП)

1. Задание на деловую игру

1.1. Цель деловой игры: обучить студентов практическим приемам оказания первой помощи пострадавшим.

1.2. Основные задачи: обучить студентов приемам оказания первой (доврачебной) помощи при несчастных случаях и заболеваниях, связанных с остановкой сердца и органов дыхания.

1.3. Замысел игры: использовать для отработки приемов оказания первой помощи специальный манекен-тренажер, имитирующий различные ситуации с нарушением нормального функционирования органов дыхания и сердца, а также ручной портативный аппарат искусственного дыхания.

2. Сценарий деловой игры

Этапы	Эпизоды, ситуации, задачи	Учебная цель	Информация для участников игры	Действия участников игры	Действия руководителя игры	Время, мин
А. Обучение на манекене-тренажере (1-я бригада)						
Организационный	Общая постановка задачи	Обучение студентов практическим навыкам искусственного дыхания	Краткая вводная информация преподавателя	Комплектование состава бригад	Знакомство со студентами, консультация по условиям игры	5
I. Вводный	1) Распределение обязанностей при работе на манекене-тренажере	Знакомство студентов со своими конкретными функциями в игре	Выдача информации преподавателем о порядке проведения игры	Изучение студентами алгоритма действий в игре	Инструктаж студентов, показ отдельных приемов	5
II. Подготовительный	2) Осмотр манекена-тренажера, изучение принципа работы	Ознакомление с устройством тренажера	Краткая информация преподавателя о возможных ситуациях	Запоминание действий преподавателя по управлению манекеном-тренажером	Проверка преподавателем исправности узлов тренажера-манекена	5
III. Обучение приемам	3) Обучение практическим навыкам проведения искусственного дыхания и непрямого массажа сердца	Отработка практических навыков	Имитация различных ситуаций на манекене-тренажере	Тренировочные операции по оказанию первой помощи	Обучение студентов практическим приемам	10
IV. Проверка освоения приемов	4) Проверка правильности выполнения приемов по оказанию первой помощи (ОПП)	Оценка правильности действий по ОПП	Имитация преподавателем опасных условий	Выполнение соответствующих приемов по заданию преподавателя	Проверка (выборочно) усвоения практических приемов	25
V. Окончание игры	5) Оценка усвоения практических приемов по ОПП	Обучение студентов ОПП	Подведение итогов преподавателем	Оценка действий студентов по усвоению приемов	Общая оценка результатов проведения игры	10
Б. Обучение на ручном портативном аппарате искусственного дыхания (2-я бригада)						
I. Вводный	1) Распределение обязанностей в бригаде	Ознакомление студентов с прибором	Постановка общей задачи	Изучение студентами алгоритма действий	Проведение инструктажа студентов	2

Продолжение

Этапы	Эпизоды, ситуации, задачи	Учебная цель	Информация для участников игры	Действия участников игры	Действия руководителя игры	Время, мин
II. Обучение	2) Отработка практических приемов	Освоение практических приемов	Краткое изложение принципа работы прибора	Изучение студентами аппарата	Консультирование студентов	8
III. Проверка усвоения приемов	3) Практическое оказание первой помощи (ситуации)	Умение оказывать первую помощь пострадавшим	Проверка знаний по ОПП	Выполнение заданий преподавателя	Оценка действий студентов по ОПП	15
IV. Окончание игры	4) Оценка усвоения приемов по ОПП	Правильность и оперативность действий	Заключение, выводы и рекомендации	Оценка действий студентов по ОПП	Подведение итогов игры, объявление победителей	5

Критерии оценки действий участников деловых игр ДИРАНС и ДИОПП

1. Для объективной оценки действия участников деловой игры принимается система положительных и отрицательных (штрафных) баллов, сумма которых составляет окончательную оценку. Правильные действия и точные ответы на поставленные вопросы оцениваются положительными баллами, за допущенные неточности или ошибочные действия применяют штрафные баллы (снижают оценку в том или ином размере).

2. Системой баллов предусматривается выставление оценок: отлично (сумма баллов не менее 25); хорошо (не менее 20); удовлетворительно (не менее 15); неудовлетворительно (ниже 15).

3. Положительные баллы выставляют студенту, который показал:

умение качественно и безошибочно выполнять свои функциональные обязанности в игре (10 баллов);

правильность ответов на поставленные вопросы с аргументированной обоснованностью, проявлением глубоких теоретических знаний (10 баллов);

умение применять теоретические знания на практике, пользоваться нормативными документами по охране труда (5 баллов);

освоение методики расчетов по охране труда, практических приемов и навыков оказания первой помощи пострадавшим (5 баллов);

умение правильно оформлять отчетную документацию по технике безопасности (5 баллов).

4. Отрицательные (штрафные) баллы выставляют, если:

допущены незначительные ошибочные действия при выполнении своих функциональных обязанностей (—2 балла);

допущены неточности в ответах на поставленный
в формулировании принятых решений, оформлении
документации, при проверке усвоения практических
и приемов (—3 балла);

выявлены недостаточной глубины знания (—5 балло
допущены существенные ошибки в действиях при
ситуациях, в ответах на поставленные вопросы, обна
слабые знания теоретического материала (—7 баллов);

проявлена пассивность в игре, не усвоены практ
навыки и приемы, допущены грубые ошибки при офо
нормативной документации по охране труда (—10 баллов)

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о труде.— М.: Юрид. лит., 1970.— 46 с.

Безопасность производственных процессов: Справ./ Под ред. С. В. Белова.— М.: Машиностроение, 1985.— 448 с.

Безопасность труда в промышленности: Справ./ К. Н. Ткачук, П. Я. Галушко, Р. В. Сабарно и др. — К.: Техніка, 1982.— 231 с.

Борьба с шумом на производстве: Справ. / Под ред. Б. Я. Юдина.— М.: Машиностроение, 1985.— 399 с.

Ванханен В. Д., Суханова Г. А. Техника санитарно-гигиенических исследований.— К.: Вища шк., 1983.— 254 с.

Денисенко Г. Ф. Охрана труда.— М.: Высш. шк., 1985.— 319 с.

Диментберг Ф. М., Фролов К. В. Вибрация в технике и человек.— М.: Знание, 1987.— 160 с.

Долин П. А. Справочник по технике безопасности.— М.: Энергоиздат, 1982.— 799 с.

Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках.— М.: Энергоиздат, 1984.— 448 с.

Золотницкий Н. Д., Пчелинцев В. А. Охрана труда в строительстве.— М.: Высш. шк., 1978.— 407 с.

Измеров Н. Ф., Широков В. Г. Методы оценки производственной среды промышленных предприятий.— М.: Медицина, 1980.— 208 с.

Инженерные решения по охране труда в строительстве / Под ред. Г. Г. Орлова.— М.: Стройиздат, 1985.— 278 с.

Куценко Г. И., Жашкова И. А. Основы гигиены. — М.: Высш. шк., 1980.— 142 с.

Кодекс законов о труде.— М.: Юрид. лит., 1976.— 200 с.

Лесенко Г. В. Организация безопасности труда на производстве.— К.: Техніка, 1977.— 191 с.

Луковников А. В. Охрана труда.— М.: Колос, 1984.— 288 с.

Манойлов В. Е. Основы электробезопасности.— М.; Л.: Энергоиздат, 1985.— 384 с.

Макушин В. Г. Совершенствование условий труда на промышленных предприятиях.— М.: Экономика, 1981.— 215 с.

Метрологическое обеспечение безопасности труда: Справ. / Под ред. И. Х. Сологяна: В 2 т.— М.: Изд-во стандартов, 1989.— Т. 1.— 240 с.

Нормы радиационной безопасности НБР-76/87 и основные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87.— М.: Энергоатомиздат, 1988.— 160 с.

Основы инженерной психологии / Под ред. Б. Ф. Ломова.— М.: Высш. шк., 1977.— 355 с.

Орлов Г. Г. Охрана труда в строительстве.— М.: Высш. шк., 1984.— 343 с.

Охрана труда / Под ред. Б. А. Князевского.— М.: Высш. шк., 1982.— 311 с.

Охрана труда в электроустановках / Под ред. Б. А. Князевского.— М.: Энергоиздат, 1983.— 336 с.

Охрана труда / Под ред. Ф. М. Канарева.— М.: Колос, 1982. — 351 с.

Охрана труда в машиностроении / Под ред. Е. Я. Юдина и С. В. Белова.— М.: Машиностроение, 1983.— 432 с.

Охрана труда в радио- и электронной промышленности / Под ред. С. П. Павлова.— М.: Энергия, 1979.— 208 с.

Павлов С. П., Губонина З. И. Охрана труда в приборостроении.— М.: Высш. шк., 1986.— 215 с.

Пыжик Г. М., Савицкий В. Е., Гогиташвили Г. Г. Управление безопасностью труда на основе стандартизации.— К.: Техніка, 1981.— 86 с.

Полтев М. К. Охрана труда в машиностроении.— М.: Высш. шк., 1980.— 294 с.

Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.— М.: Энергоатомиздат, 1986.— 421 с.

Правила устройства электроустановок.— М.: Энергоиздат, 1986.— 646 с.

Правила безопасности при работе с инструментом и приспособлениями. —М.: Энергоатомиздат, 1986.— 175 с.

Положение о расследовании и учете несчастных случаев на производстве.— М.: Профиздат, 1982.— 31 с.

Салов А. И. Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта.— М.: Транспорт, 1985.— 351 с.

Справочная книга по охране труда в машиностроении / Под ред. О. Н. Русака.— М., Л.: Машиностроение, 1989.— 541 с.

Хорбенко И. Г. Звук. Ультразвук. Инфразвук.— М.: Знание, 1986.— 191 с.

Штефан Б. П. Методические указания по расчету ожидаемого уровня шума на рабочих местах с использованием ЭВМ / Винницкий политехн. ин-т.— К.: МПП, 1982.—23 с.

Щербина Я. Я., Щербина И. Я. Основы противопожарной защиты.— К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985.— 255 с.

Абсорбция 241, 242
Аварии 6
Аварийные ситуации 6, 7
Автоматизация и механизация производственных процессов 3
Административно-общественный контроль 18, 19
Адсорбция 241, 242
Альфа-излучения 105
Анемометр 37
Антропометрические требования 9
Аэрация 38
Аэрогели 38
Аэрозоли 38, 215

Барограф 37
Безопасное расстояние 11
Безопасность взрывная 11
— пожарная 11
— производственного оборудования 10
— — процесса 10
— труда 5, 10, 122
Бета-излучение 105, 115
Блокировка механическая 165
— электрическая 165

Взрыв 197
Взрывоопасная зона 202
Величина приложенного напряжения 143
Вентиляция естественная 42
— искусственная
— местная 42
— механическая 42
Вещества вредные 43
— токсические 32, 38
— ядовитые 32
Вибрация 78
— локальная 81
— комбинированная 81
— общая 81
Вибрационная болезнь 81, 86
Вибродемпфирование 85
Виброизоляция 85
Виброметр 84
Виброскорость 79, 84
Виброускорение 79
Водяной пар 223
Возгорание 196
Воспламенение 197
Вспышка 196

Гамма-излучение 105, 115
Гамма-эквивалент 110
Генетический мониторинг 119
Герметизация оборудования 137
Гигиена труда 5, 6, 31, 32
Гигрограф 37
Глушение шума 72
Горение 196
— гетерогенное 196
— гомогенное 196
— детонационное 197
Горючие вещества 197
— газы 197
— жидкости (ЛВЖ и ГЖ) 198
— смеси 197

Дефибриллятор 140, 141
Дефлектор 44
Доза излучения поглощенная 108
— — предельно допустимая 111
— — экспозиционная 108, 115
Дозиметрический контроль 117
— — индивидуальный 117
— — общий 117
Документы предприятий 13

Заземлитель 148, 168, 174, 270
— одиночный 176
Заземляющее устройство 170, 194

— — выносное 171
— — контурное 171
Замыкание тока 167
Законодательство по охране труда 11
Защитное заземление 167, 270
— отключение 182
Зануление 177, 274
Звуковое давление 64
— поле 64
Звукоизоляция 71
Звукопоглощение 71
Здания и сооружения несгораемые 204
— — — огнестойкие 204
— — — трудносгораемые 204
Знаки безопасности труда 11
Значение электрического тока 142
Излучение ионизирующее 104
— лазерное 101
— нейтронное 105, 106
— радиационное 106
— электромагнитное 94
Извещатели 232
— автоматические 232
— — дымовые 233
— — комбинированные 233
— — световые 233
— — тепловые 233
Изоляция 157, 164
Индивидуальные особенности людей 144
Инженерная безопасность 138
Инструктаж 16
— вводный 16
— внеплановый 16, 17
— первичный на рабочем месте 16, 17
— повторный 16, 17
— текущий 16, 17
Интенсивность звука 64
— электромагнитного поля 90
Инфразвук 63, 73
Ионизация воздуха 215
Источники электромагнитных полей (ЭМП) 89
— излучения 89
— вибрации 80, 87
Кататермометр 37
Категории помещений по пожаровзрывоопасности 200
Комфортность 37
Колебания звуковые 65
— инфразвуковые 65, 73
— механические 80
— — вынужденные 80
— — крутильные 81
— — поперечные 81
— — продольные 81
— — собственные 80
— ультразвуковые 65, 73
Компесирующая катушка 166
Кондиционер 48
Концентрация газов 40
Контроль ведомственный 17, 18
— второй ступени 19
— первой ступени 18
— третьей ступени 19
Кошма 227
Коэффициент базовый 29
— грузовой устойчивости 125
— исполнительской дисциплины ИТР 29
— ослепленности 56
— повышения температуры 36
— производственной безопасности 29
— светового климата 54
— солнечного климата 54
— технической безопасности 29
Логарифмический уровень колебаний 79
— — выброскорости 84
Лазер 101
Лазерная безопасность 101
Машина 9
Метеорологические условия 34
Механические повреждения 140

Метод анализа производственного травматизма групповой 24
— — — — монографический 24, 25
— — — — статистический 24
— — — — топографический 24, 25
— — — — экономический 25
Микроклимат 34
Молниезащита 215
Молниеотвод 217
Мутагенные изменения 118
Мероприятия по противопожарной защите 207
— — — — организационные 207
— — — — режимные 207
— — — — технические 207
— — — — эксплуатационные 207

Надзор ведомственный 17, 18
— высший 17
— государственный 17, 18
Напряжение 145
— линейное 145
— прикосновения 147
— шага 147, 150
Напряженность поля магнитного 97, 149
— — электрического 90
Наряд 193
Наряд-допуск 193
Нейтраль заземления 153, 163, 180
— изолированная 153, 163, 168
Неотпускающий ток 142
Несчастные случаи 6, 7, 20, 132, 160, 191
— — на производстве 10
Нормы по специальной охране труда женщин, молодежи 12
— облучения УВЧ и СВЧ 94
— правовые 12
— санитарные 13

Объект управления 25, 27
Огнетушители 225
— аэрозольные 225
— жидкостные 225
— пенные 225
— порошковые 225
— углекислотные 225
— химические пенные 225
Опасная зона 10, 95
Оперативное обслуживание электроустановок 189
— переключение 191
Организация рабочего места 8
Освещенность 51
— максимальная 57
— минимальная 57
— нормируемая 57
— рабочей поверхности 56
Ослепленность 56
Ответственность административная 19
— дисциплинарная 19
— материальная 20
— уголовная 20
Отравления острые 32
— хронические 32
Освещение аварийное 55
— дежурное 55
— естественное 53, 60
— искусственное 55, 58, 60
— охранное 55
— рабочее 55
— эвакуационное 55
Очистка промышленных выбросов 241
— сточных вод 243
Охрана вод 243

Пена воздушно-механическая 223
— химическая 223
Первая (доврачебная) помощь 141
Петля «фаза-нуль» 178

Переносные заземления (закоротки) 188
Повторное заземление 181
Пожар 196, 199, 224
Пожарная безопасность 6, 7, 220, 235
— охрана 234
— сигнализация 231
— техника 227
Пожарные краны 225
Пожарный водопровод 225
Пожаро- и взрывобезопасность 11
Показатель ослепленности 52, 56
Помещения влажные 157
— жаркие 158
— пожароопасные 201, 203
— пыльные 158
— особо сырые 157
— сухие 157
— с химически активной средой 158
— сырые 157
Порог неотпускающего тока 142
— ощущения тока 142
Пороговый фибрилляционный ток 140
Правила межотраслевые 12
— организации охраны труда 12
— отраслевые 12
— по производственной санитарии 12
— по специальной охране труда женщин, молодежи 12
— по технике безопасности 12
— санитарные 12
Прикосновение двухфазное 145, 152
— к заземленным нетоковедущим частям 145
— однофазное 145, 153, 154
Предельно допустимый выброс 242
— — уровень (ПДУ) 75, 245
Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ 31, 39, 242
Предупредительные плакаты 188
Продолжительность воздействия тока 144
Производственная санитария 5, 10
— среда 9
Производственные опасности 6
Производственный фактор вредный 10
— — опасный 10
Промышленная электротермия 91
Промышленные роботы 135
Противопожарные преграды 208
Противопожарный водопровод 208
Профессиональные вредности 31
— заболевания 11, 38
Психофизиологические требования 8
Психометр 37
Путь тока в теле человека 144
Пылеосадочные камеры 41
Пыли видимые 39
— микроскопические 39
— нетоксичные 38
— ядовитые 38
Пылеотделители центробежные (циклоны) 41, 42

Рабочая зона 8
— поза 8
Рабочее место 8
Радиационный фон 118
Радиоволны 90
Распределительное устройство (РУ) 190
Расследование несчастных случаев 23

Реле напряжения 186
Рециркуляция воздуха 45

Самовозгорание 197, 200
— биологическое 197
— тепловое 197
— химическое 197
Санитарно-бытовые помещения 33
Санитарно-защитная зона 33, 207
Санитарный надзор 5
Светильники 60
Световая характеристика 53
Световой поток 51, 58
Сила света 51
Система вентиляции 42, 210
— — вытяжная 42, 45
— — приточная 42, 43
— — приточно-вытяжная 42, 43
— кондиционирования 210
— отопления 210
Сопротивление тела человека 142
Сосуды с избыточным давлением 128
Средства защиты индивидуальной 11, 102, 115
— — коллективной 11, 101
Стандарты безопасности труда 13
— — — предприятий 14

Теплоизоляция 38
Термоанемометры 37
Термограф 37
Техника безопасности 5, 7, 10
Техническая эстетика 7
Токи высокой частоты 89
Травма 10
Требования эргономики 8
— — антропометрические 8, 9
— — биомеханические 8
— — гигиенические 8, 9
— — психологические 8, 9
— — психофизиологические 8
— — социальные 8, 9
— — экономические 8
— — эстетические 8, 9

Удельное сопротивление грунта 174
Ультразвук 63, 73
Управляющий орган 25, 27
Уровень шума 67, 69, 264
Условия труда 5, 7, 35
Установки вентиляционные 210
— лазерные 101
— осветительные 61
— пожаротушения 227
— — автоматические 228
— — аэрозольные 227
— — водяные 227
— — дренчерные 228
— — жидкостные 227
— — неавтоматические 229
— — паром 229
— — передвижные 230
— — полустационарные 230
— — стационарные 229
— электрические 90, 157
Устройство защитного отключения (УЗО) 183

Фибрилляция сердца 140
Физиология труда 7

Фильтры 42
— масляные 42
— матерчатые 42
— электрические 42
Фон 52

Хемосорбция 241, 242
Частота звука 64
— тока 142
Частотный спектр 69
Человеческий фактор 9

Шум 63, 264
— непостоянный 69
— постоянный 69
Шумомер 67

Эвакуация при пожарах 211
Эквипотенциальная поверхность 148
Экран 100
— защитный 115
— отражающий 100
— поглощающий 100
Экранирование 100
Электрические знаки 140
— ожоги 139
Электрический удар 14
Электрическое замыкание на землю 148
Электробезопасность 139
Электрозащитные средства 187
— — изолирующие 187
— — ограждающие 188
— — предохранительные 189
Электромагнитные волны 89
Электрометаллизация кожи 140
Электроофтальмия 140
Электростатические заряды 215
— разряды 215
Электротехническая земля 150
Электротравма 139
Эпидермис 142
Эргономика 7
Эстетика 7

Яркость поверхности 51

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Раздел I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА (ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ОХРАНЫ ТРУДА)

Глава 1. **Содержание, цели и задачи курса «Охрана труда»** 5
1.1. Охрана труда в СССР 5
1.2. Цели и задачи курса «Охрана труда» 6
1.3. Научно-технический прогресс и охрана труда . . . 7
1.4. Основные понятия и определения по охране труда . . 10

Глава 2. **Правовые и организационные вопросы охраны труда** 11
2.1. *Законодательство об охране труда (общие положения)* 11
2.2. Нормативно-техническая документация по охране труда 12
2.3. Организация охраны труда на предприятии 15
2.4. Надзор и контроль за состоянием охраны труда . . . 17
2.5. Расследование, учет, методы анализа производственного травматизма и профессиональных заболеваний . . . 20
2.6. Система управления охраной труда (СУОТ) 25
Учебно-поисковая задача 29

Раздел II

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА

Глава 3. **Оздоровление воздушной среды** 31
3.1. Основные задачи производственной санитарии и гигиены труда 31
3.2. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий 33
3.3. Метеорологические условия и их нормирование в производственных помещениях 34
3.4. Производственные пыли, пары и газы 38
3.5. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха 42
Учебно-поисковая задача 49
Пример 1 50

Глава 4. **Производственное освещение** 50
4.1. Основные светотехнические величины, виды и системы освещения, требования к производственному освещению 50
4.2. Естественное освещение 53

4.3. Искусственное освещение 55
4.4. Расчет искусственного освещения 57
4.5. Эксплуатация и контроль осветительных установок 60
Учебно-поисковая задача 61
Пример 2. 62

Глава 5. **Защита от шума, ультразвука и инфразвука** . . 63

5.1. Физические характеристики шума 63
5.2. Измерение шума на рабочем месте 67
5.3. Характеристики источников шума 69
5.4. Нормирование шума 69
5.5. Методы борьбы с шумом 70
5.6. Защита от инфра- и ультразвука 73
Учебно-поисковая задача 75
Пример 3 76

Глава 6. **Защита от производственных вибраций** 78

6.1. Физические характеристики вибраций 78
6.2. Характеристики источников вибраций 80
6.3. Действие вибрации на организм человека 81
6.4. Гигиенические характеристики и нормы вибрации . . 82
6.5. Методы снижения вибраций машин и оборудования . 84
Учебно-поисковая задача 87
Пример 4 87

Глава 7. **Защита от электромагнитных полей** 89

7.1. Источники электромагнитных полей радиочастот и их характеристика 89
7.2. Источники электромагнитных полей промышленной частоты в электроустановках сверхвысокого напряжения (СВН) 90
7.3. Воздействие электромагнитных полей на организм человека 91
7.4. Нормирование электромагнитных полей 93
7.5. Измерение интенсивности электромагнитных полей . . 96
7.6. Методы защиты от электромагнитных полей . . . 98
7.7. Защита от лазерного излучения 101
Учебно-поисковая задача 102
Пример 5 103

Глава 8. **Защита от ионизирующих излучений** 104

8.1. Виды ионизирующих излучений, их физическая природа 104
8.2. Биологическое воздействие ионизирующих излучений на организм человека 106
8.3. Единицы активности и дозы ионизирующих излучений 108
8.4. Нормирование ионизирующих излучений 110
8.5. Защита от ионизирующих излучений 113
8.6. Хранение, ликвидация отходов. Дозиметрический контроль 116
Учебно-поисковая задача 118
Пример 6 119

Раздел III

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Глава 9. **Безопасность труда при техническом обслуживании машин, механизмов, энергосилового оборудования и инструмента** 120
9.1. Общие требования безопасности к производственным процессам, оборудованию и средствам защиты . . 120
9.2. Требования безопасности при эксплуатации погрузочно-разгрузочных машин и механизмов 122
9.3. Безопасность сосудов, аппаратов, систем и оборудования с избыточным давлением 128
9.4. Техника безопасности при электро- и газосварочных работах 132
9.5. Промышленные роботы (ПР) и безопасность труда . . 135
Учебно-поисковая задача 138
Пример 7 138

Глава 10. **Основы электробезопасности** 138
10.1. Опасность поражения электрическим током 138
10.2. Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током 142
10.3. Схемы прикосновения к токоведущим частям 145
10.4. Растекание тока при замыкании на землю 148
10.5 Анализ опасности электрических сетей 153
10.6. Классификация электроустановок 157
Учебно-поисковая задача 159
Пример 8. 159

Глава 11. **Защитные меры и средства в электроустановках** 160
11.1. Причины поражения электрическим током и основные меры защиты 160
11.2. Контроль и профилактика повреждений изоляции . . 162
11.3. Защита от случайного прикосновения к токоведущим частям 164
11.4. Компенсация емкостной составляющей тока замыкания на землю 165
11.5. Защитное заземление, зануление и защитное отключение 167
11.6. Электрозащитные средства и предохранительные приспособления 187
11.7. Организация безопасной эксплуатации электроустановок 189
Учебно-поисковая задача 194
Пример 9 195

Раздел IV

ОСНОВЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Глава 12. **Горение, пожарная опасность, меры пожарной безопасности** 196
12.1. Общие сведения о процессе горения 196
12.2. Пожарная опасность на производстве и меры профилактики 199

12.3. Огнестойкость зданий и сооружений 204
12.4. Меры пожарной безопасности 207
12.5. Защита от электростатических разрядов на производстве. Молниезащита 215
Учебно-поисковая задача 220
Пример 10. 221

Глава 13. **Средства тушения пожаров и пожарная техника. Организация пожарной охраны** 222
13.1. Средства огнетушения и их свойства 222
13.2. Первичные средства пожаротушения 224
13.3. Машины и аппараты пожаротушения 227
13.4. Средства извещения и сигнализации о пожаре (пожарная сигнализация и связь) 231
13.5. Организация пожарной охраны 234
Учебно-поисковая задача 237
Пример 11 238
Пример 12 238

Глава 14. **Охрана окружающей среды** 239
14.1. Основные направления работ по охране окружающей среды 239
14.2. Защита атмосферы 241
14.3. Защита водного бассейна 243
14.4. Утилизация и ликвидация промышленных отходов 244
Учебно-поисковая задача 245
Пример 13 246
Пример 14 247

Приложения 248
Приложение 1. Программированный контроль знаний по охране труда 248
Приложение 2. Программа расчета сопротивления защитного заземления электроустановок с использованием ЭВМ 264
Приложение 3. Программа расчета сопротивления зануления электроустановок с использованием ЭВМ . . 268
Приложение 4. Деловые игры по охране труда . . 271
I. Деловая игра «Расследование и анализ несчастных случаев» (ДИРАНС) 271
II. Деловая игра «Оказание первой помощи» (ДИОПП) 272

Список рекомендуемой литературы 276

Учебник

Кобевник Василий Федорович

ОХРАНА ТРУДА

Переплет художника *Н. П. Семашко*
Художественный редактор *С. П. Духленко*
Технический редактор *Л. Ф. Волкова*
Корректор *Н. И. Кунцевская*

ИБ № 12917

Сдано в набор 31.03.89. Подписано в печать 22.11.89. БФ 05189. Формат 84×108/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 15,12. Усл. кр.-отт. 15,38. Уч.-изд. л. 16,05. Тираж 26 000 экз. Изд № 8449. Заказ 9-284. Цена 70 к.

Издательство «Выща школа», 252054, Киев-54, ул. Гоголевская, 7.

Книжная фабрика им. М. В. Фрунзе, 310057, Харьков-57, ул. Донец-Захаржевского, 6/8.